

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich  
**Herausgeber:** Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)  
**Band:** 19 (1942)

**Artikel:** Die pollenanalytische Untersuchung der Gletscherbewegung mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse am Grossen Aletschgletscher (Wallis, Schweiz) und Ergänzungen vom Gepatschferner (Ötztalergroupe, Tirol)

**Autor:** Vareschi, Volkmar

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-307510>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

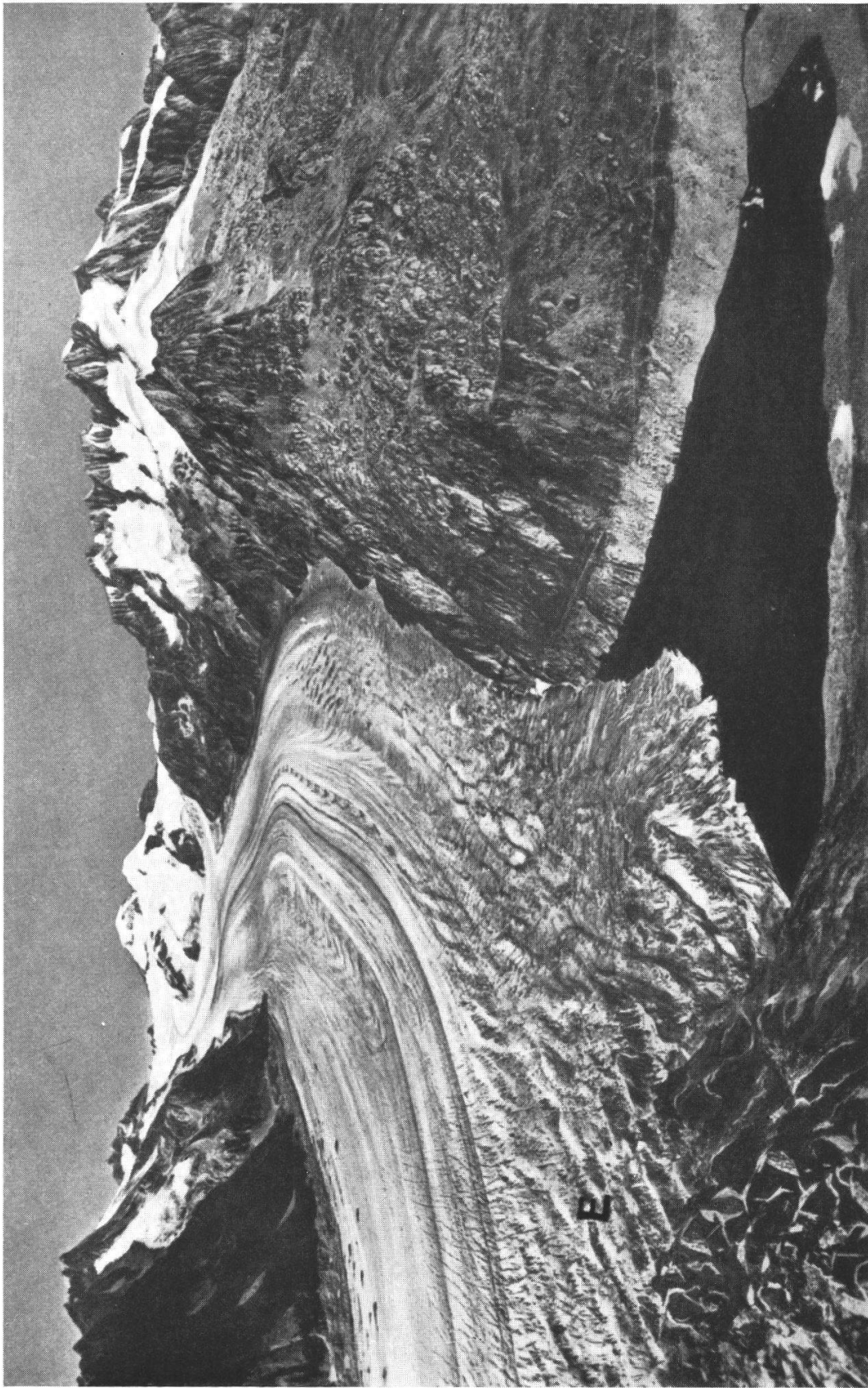


Abb. 14. Blick vom Eggishorn auf den Aletschgletscher und den Märjelsee. Sommer 1923. Man erkennt die verschiedenen Moränen- und Ogivesysteme und die sogenannten Eistäler bei E (Phot. Gabarell).



**Veröffentlichungen  
des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich  
19. Heft**

---

# Die pollenanalytische Untersuchung der Gletscherbewegung

mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse  
am Großen Aletschgletscher (Wallis, Schweiz) und  
Ergänzungen vom Gepatschferner (Ötztalergruppe, Tirol)

von

**VOLKMAR VARESCHI**

München, Nymphenburg  
Botanische Staatsanstalten



**VERLAG HANS HUBER BERN  
1942**

Als Manuskript abgeschlossen am 25. Mai 1940

Eingegangen am 27. Januar 1941

Die Veröffentlichung aller im vorliegenden Bande  
enthaltenen Kartenskizzen oder Geländephographien  
(zusammen 14 Stück) wurde behördlich bewilligt am  
13. März 1941 gemäß BRB vom 3. Oktober 1939

Alle Rechte vorbehalten

Copyright by Verlag Hans Huber, Bern 1942

In der Schweiz gedruckt — Imprimé en Suisse — Printed in Switzerland

**MEINEN ELTERN**





## Inhalt.

	Seite
Vorwort . . . . .	9—10
<i>I. Allgemeiner Teil</i> . . . . .	11—45
A. Die Gletscherbewegung und ihre Theorie . . .	11—23
1. Theorie der Gletscherbewegung vor Finsterwalder	11
2. Die Finsterwalder'sche Stromlinientheorie . . .	15
3. Die Philipp'sche Scherungstheorie . . . . .	20
B. Die Pollenanalyse als neue glaziologische Me- thode . . . . .	24—45
4. Der Pollenregen . . . . .	24
5. Pollentransport durch Wind . . . . .	29
6. Die Pollenaspekte . . . . .	33
7. Anwendung der Pollenanalyse in der Glaziologie .	39
<i>II. Spezieller Teil: Pollenanalytische Untersuchung des     Großen Aletschgletschers mit Ergänzungen vom     Gepatschferner</i> . . . . .	46—58
A. Der Große Aletschgletscher . . . . .	46—58
8. Orographie des Großen Aletschgletschers . . . .	46
9. Glaziologische Erforschung des Großen Aletsch .	48
10. Die Freilandarbeit am Großen Aletsch . . . . .	55
B. Der Firnteil des Großen Aletsch . . . . .	58—75
11. Die äußere Erscheinung der Firnschichtung . . .	58
12. Ein senkrechtes Profil im Firnteil des Aletsch .	61
13. Weitere senkrechte Profile aus den Firngebieten des Aletsch- und Gepatschgletschers . . . . .	66
14. Das aspektstratigraphische Bild des Firngebietes .	72
C. Der Ogiventeil des Großen Aletsch . . . . .	75—122
15. Das Problem der Ogiven . . . . .	75
16. Die äußere Erscheinung der Ogiven des Großen Aletsch . . . . .	78
17. Oberflächenprofil, median durch eine Serie von fünf Ogiven des Jungfrauteils . . . . .	88
18. Aspektstratigraphisches Bild einer Ogive des Ewig- schneeteils . . . . .	92

	Seite
19. Die Ogiven des Concordiaplatzes . . . . .	100
20. Aspektstratigraphisches Bild eines Ogivenfeldes des Gepatschfernens . . . . .	103
21. Profile im Gebiet des Pflugfurcheneises . . . .	105
22. Das aspektstratigraphische Bild der Ogivenzone des Aletsch . . . . .	110
23. Folgerungen aus dem Charakter der Ogiven als Jahresschichten . . . . .	113
24. Folgerungen aus dem Aspektcharakter des Pflug- furcheneises . . . . .	119
D. Der Zungenendteil des Aletsch . . . . .	122—137
25. Äußere Erscheinung des Zungenendes des Aletsch . . . . .	122
26. Proben aus dem Zungenendgebiet des Aletsch .	125
27. Profil, senkrecht zur Bänderung aus einer Quer- spalte im Zungenendgebiet des Gepatschfernens	131
28. Folgerungen aus dem Aspektcharakter des Zun- genendteils . . . . .	134
III. Abschließender Ausblick . . . . .	138—141
29. Der Beitrag der Pollenanalyse zur Kenntnis der Gletscherbewegung . . . . .	138

„Es gibt keinen großartigeren Zeugen von der Überwindung der Wirrnis und Spröde durch das Gesetz als den Gletscher.“

(W. Flaig, 1938)

## Vorwort.

Die hier vorliegende Arbeit ist ein Beispiel dafür, daß zwei scheinbar an weit voneinander getrennten Punkten der Wissenschaft ansetzende Sparten der Forschung plötzlich dadurch zueinander in engere Beziehungen kommen, daß die Methode der einen auf die andere angewandt, überraschend viel neues Material zu schaffen vermag. Daß hier eine paläobotanische Arbeitsweise, nämlich die Pollenanalyse, auf das Gebiet der Gletscherkunde übergreift, zeigt, daß dies sogar für methodisch so weit getrennte Disziplinen, wie es Biologie und Geologie zu sein scheinen, zutreffen kann. Freilich bedeutet dieses Arbeiten in wissenschaftlichen Grenzgebieten auch das Auftauchen vieler Schwierigkeiten. Der Bearbeiter selbst muß sich in neue Fachgebiete einarbeiten, die Institute, in denen er arbeitet, müssen in selbstloser Weise die Möglichkeiten schaffen, daß sie Arbeitsmöglichkeiten eröffnen, die ihrem eigentlichen Aufgabenkreis ferner liegen. Gerade in dieser Beziehung bin ich ganz besonders dem Geobotanischen Forschungsinstitut Rübel, an dem ich damals als Assistent arbeitete, und seinen Leitern, Prof. Dr. E. Rübel und Dr. W. Lüdi, zu größtem Dank verpflichtet. Die gesamte Ausrüstung, die Finanzierung der alljährlichen Exkursionen ins Eisgebiet und die Förderung der Arbeit in jeder Hinsicht gehören hierher.

Auch die Botanischen Staatsanstalten in München - Nymphenburg, insbesondere Direktor Prof. v. Faber und Prof. E. Bergdolt, widmeten der Arbeit ihr Interesse und stellten mir die zur Beendigung nötige Zeit zur Verfügung. Außer den beiden genannten Instituten bin ich noch dem Deutschen Alpenverein, dem Schweizerischen Alpenklub (Sektion Grindelwald) und der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft Dank schuldig. Weiterhin haben mich folgende Herren unterstützt: Dr. W. Lutschg, Zürich, Dr. R. Streiff-Becker, Zürich, Prof. R. v. Klebelsberg, Innsbruck, Prof. S. Finsterwalder, München, Dr.

B ü h l e r , München. Schließlich möchte ich noch meinen Kameraden, die mir bei den Arbeiten im Aletscheis beigestanden und alle Unbill und Fährnis wochenlangen Hochgebirgslebens mitmachten, aufs herzlichste danken. Ihre begeisterte Hingabe an die gestellten, oft schweren Aufgaben, ihre Bereitwilligkeit, alle Strapazen zu ertragen, ihre kaltblütige Einsatzbereitschaft in schwierigen Situationen hat die Beendigung der Untersuchung erst ermöglicht. Heimtrud V a r e s c h i - S t i e r l e n , meiner Frau, Karl V a r e s c h i , meinem Vater, und Arno B a c m e i s t e r , meinem Freund, möchte ich dafür herzlichst danken.

Vom ersten Auftauchen des Grundgedankens der Arbeit bis zu ihrem Erscheinen sind sieben Jahre anstrengendster Kleinarbeit vergangen. Die Hoffnung, mit diesem Beitrag das seit langem schwebende Problem der Gletscherbewegung wenigstens in bezug auf die Art und Weise, in der diese Bewegung sich vollzieht — abgesehen von der Ursache derselben, die hier nicht behandelt werden soll — etwas fördern zu können, und die Hoffnung, daß die einmal bewährte Methode in der Hand von anderen Glaziologen weitere Aufschlüsse bringen könnte, hat den Verfasser immer wieder dazu veranlaßt, seine eigentliche Berufsarbeit, die ja auf rein botanischem Gebiete lag, zugunsten des gesteckten Zieles hintanzustellen.



## I. Allgemeiner Teil.

### A. Die Gletscherbewegung und ihre Theorie.

#### 1. Theorie der Gletscherbewegung vor Finsterwalder.

Die einfache Tatsache, daß ein Gletscher sich bewegt, wird längst als bekannt und keines Erstaunens wert hingenommen. Sobald man aber ein kleines Stück Eis eben dieses Gletschers in der Hand hält und auf seine physikalischen Eigenschaften hin untersucht und findet, daß es sich um einen spröden, starren Körper handelt, dessen «Fließen» nicht ohne weiteres denkbar ist, stößt man auf das Fremdartige, Paradoxe, das im Fließen des Gletschers gegeben ist. Der begreifliche Wunsch, die Gletscherbewegung näher zu untersuchen und sie schließlich zu erklären, hat nun zu zahlreichen Arbeiten Anlaß gegeben, die, solange überhaupt Gletscherkunde getrieben wird, dem Geheimnis der Gletscherbewegung irgendwie auf die Spur zu kommen versuchen. Schon die erste halbwegs wissenschaftliche Beschreibung der Gletscher, die Sebastian Münster in seiner *Cosmographia* (1544) gibt, enthält in dem Hinweis «ist auch sein eigenschaft, daß er sich selbst purgieret, bis er rein wird wie ein cristal» eine Andeutung, die mit der Eisbewegung in Zusammenhang steht, da ein «Purgieren», das allein auf Schmelzung beruht, ja nicht laufend andauern könnte, ohne den Nachschub von oben. Viel klarer erkennt zwei Jahrhunderte später I. G. Altman in seinem Buch «Versuch einer historischen und physischen Beschreibung Der Helvetischen Eisberge» (1753) die Gletscherbewegung: «... wann die großen Eistafeln von der Fläche des Eismeers zwischen den Bergen hinausgetrieben werden (dadurch dann der an dem Berge liegende und gleichsam hangende Gletscher von obenher gedrückt wird) und auf diese Weise geschieht es, daß durch dieses große von oben herkommende Gewicht der ganze Gletscher weiter gegen das Tal hinunter geschoben wird.» Hier ist neben der Beschreibung von Gletschervorstoß, Gletscherbewegung und Struktur (Eistafeln = Firnschichten?) auch bereits eine Ursache dieser Bewegung in der Schwerkraft erwähnt.

Heim zählt in seiner Gletscherkunde (1885) im Zeitraum zwischen 1705 und 1882 etwa 47 Forscher auf, die sich alle mit dem

Problem der Gletscherbewegung auseinanderzusetzen. Es handelt sich in allen Fällen um Theorien, die auf Beobachtungen in der Natur und physikalischen Überlegungen beruhen, nicht aber um eine Methode, die, systematisch angewandt, über die Theorie hinaus zu beweisbaren Tatsachen geführt hätte. Inzwischen ist die Zahl der Gletscherbewegungstheorien nach H o l l (1931) auf 80 (!) angewachsen.

Etwa 20 verschiedene Hauptursachen geben diese Forscher für die Gletscherbewegung an. Meist wird eine einzige als allein-gültig angesehen und alle andern abschätzig beurteilt. H e i m selbst sagt, indem er alle Theorien überschauend durchgeht: «Der Verfasser ist weit davon entfernt, irgendeiner der bisher besprochenen Gletschertheorien die Palme reichen zu wollen. Eine durchgreifende Gletscherbewegungstheorie hat noch niemand zu geben vermocht.» Und ich glaube beim Überblicken der neueren Literatur sagen zu können, daß wir grundsätzlich noch nicht über den Stand der Dinge vor 55 Jahren hinaus sind. Immerhin ist inzwischen der Kreis jener Theorien, die nach dem heutigen Stand der Forschung noch Beachtung und Nachprüfung verdienen, schon beträchtlich geringer geworden. Niemand wird heute noch ernstlich an J. J. S c h e u c h z e r s Ansicht, daß das in den Sprüngen des Eises gefrierende Wasser durch Volumvergrößerung das Fließen verursacht, beipflichten. Solche und ähnlich leicht widerlegbare Theorien (z. B. von T. C h a r p e n t i e r 1830, B i s e l x 1830, J. C h a r p e n t i e r 1841), welche sich alle auf die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren stützen, können vernachlässigt werden.

In einer zweiten Gruppe von Theorien wird die treibende Kraft in der Neubildung von Eis gesucht, genauer: In dem allmählichen Wachstum des Gletscherkorns (H u g i 1843, B e a u m o n t 1842, B e r t i n 1866, G r a d 1867, F o r e l 1882). Von diesen Autoren kommt nur F o r e l s sogenannte thermische Theorie heute noch in Betracht. Ihr wesentlicher Inhalt ist folgender: Im Gebiet der Gletscherzunge tauchen die größten Gletscherkörner auf, im Firngebiet die kleinsten. Gletscherkörner sind also Kristalle, die mit fortschreitendem Zutalgleiten des Gletschers wachsen. Wie kommt nun der Zuwachs des Einzelkorns zustande? H e i m (1885) glaubt durch die Verschmelzung benachbarter Körner, H a g e n b a c h (1888), daß große Körner kleinere in ihr Wachstum einbeziehen,

Forel, daß an die ursprünglich kleinen Körner sich gefrierendes Schmelzwasser, das durch das Haarspaltennetz zu ihnen dringt, anlagert und so ihr Wachstum bewirkt. Dieses Eindringen und Anlagern des Schmelzwassers wird durch eine Reihe scharfsinniger Überlegungen zu einer Theorie der Gletscherbewegung verwertet. An dieser Theorie fesselt uns weniger das «Warum?», sondern das «Wie?» Die später zu erörternden pollenanalytischen Ergebnisse geben ja auch keine Ursachen der Eisbewegung an, sondern zunächst nur die Art und Weise derselben. Die schließlich anzustellenden Gegenüberstellungen der verschiedenen Theorien mit dem pollenanalytischen Befund beziehen sich also auf das «Wie» der Gletscherbewegung. Die Forelsche Thermotheorie setzt voraus, daß das Kornwachstum im ganzen Gletscher, also auch in seinen untersten bzw. innersten Teilen durch Infiltration von Wasser (jährlich von der Eisoberfläche her etwa eine Schicht von 4,5 m Wasser) erfolgt. Zu den bekannten physikalischen Einwänden ist hier nicht Stellung zu nehmen, Heim (1885) führt diese Theorie dadurch ad absurdum, daß er nachweist, daß, wenn wirklich aus jedem kleinen Gletscherkorn des Aletsch eines von der Größe würde, wie sie an der Zunge vorkommen, dann keine Erscheinung der Abschmelzung mehr hinreichen würde, um das Anschwellen der Zunge zu einem bergeüberflutenden Monstrum zu verhindern. Als vollkommen überholt möchte ich jedoch die Forelschen Ideen auch heute noch nicht hinstellen und gelegentlich auf einzelne seiner Gedanken zurückkommen.

In den bisher erwähnten Theorien gibt die Schwerkraft nur die Richtung der Bewegung an. In den folgenden ist sie die Ursache derselben.

Unter diesen Theorien ist für uns besonders die von Thomson (1849) interessant. Er nimmt Verflüssigung des Eises durch hohen Druck an. Der Vorgang ist nach der Wiedergabe Heims (1885) ungefähr so zu denken: In gewissen Teilen des Gletschers wird der talwärts drängende Druck durch das eigene Gewicht sehr groß. Dabei wird hier und dort Eis verflüssigt. Das so entstandene Wasser fließt in benachbarte Hohlräume, Haarspalten u. a. m. Die bei der Verflüssigung gebundene Wärme hat jedoch das Wasser bereits auf etwas unter 0° abgekühlt, so daß es an seinem neuen Ort, dem Druck entronnen, sofort wieder gefriert.

An den Partien, wo das Wasser ausgeflossen ist, rückt nun entweder Wasser von benachbarten Hochdruckstellen nach, oder das Eis gleitet ohne Verflüssigung als fester Körper dorthin. Durch Wiederholung und Hand in Hand laufen dieser Prozesse kommt es zu der Fähigkeit des Gletschers, sich als Ganzes dem Bett anzupassen, die Form stets zu ändern und vorwärtszufließen. Heim und Tyndall bringen nun die Blaublätterstruktur mit diesen stellenweisen Schmelzerscheinungen in Beziehung. Sie seien nichts anderes als Zeugen einer schichtweisen Verflüssigung des Eises. Bei der Verflüssigung wird die Luft ausgetrieben; das vorher weißliche Eis erscheint jetzt blau. Dabei geht stets Volumen verloren, stets wird das Eis dichter, stets fließt ein Teil des Schmelzwassers ab. Die Verflüssigung durch Druck geschieht in Schichtzonen, die senkrecht zur Druckrichtung liegen. Voraussetzung für die Gültigkeit der Thomsonschen Theorie ist, daß der Gletscher sich in keinem seiner bewegten Teile bedeutend von der Schmelztemperatur entfernt. Ein nach dieser wie nach den vorher erwähnten Theorien bewegter Gletscher wird die bei der Firnbildung entstandene Lagebeziehung der Eisteile stark geändert haben, ja nach einer kurzen Dauer der Fließbewegung wird von der ursprünglichen Lagerung nichts mehr übrig sein.

Eine große Gruppe von Theorien schiebt dem Eis selbst die Fließfähigkeit als « dickflüssige Masse » zu. Als erster hat Bordier (1750) die Plastizität des Eises erwähnt und schon 1841 gelingt es der intuitiven Schau des Bischofs Rendu, den Gletscher als dickflüssige Masse aufzufassen und so einige seiner Erscheinungen (Blaublätter, Regelation, Geschwindigkeitsänderung vom Rande gegen die Mitte zu u. a.) faßbar zu machen. Zu den Vorläufern der heute noch geltenden Theorien dieser Gruppe gehört auch Schlagintweit (1857) und Forbes (1843) Experimentell haben über die Plastizität des Eises besonders Pfaff (1875), Steenstrup (1882) und McGee (1881) gearbeitet. Ihre Versuche zeigen, daß Eisstäbe und -platten sich bruchlos biegen können, wenn die Temperatur nahe an  $0^{\circ}$  ist und etwas Druck angewendet wird. Mehr jedoch zeigen sie nicht. Wir haben es ja im Gletscher mit gewaltigen zusammenhängenden Eismassen zu tun, die Biegsamkeit eines Kupferdrahtes darf nicht auf die Plastizität eines Kupferwürfels von 1 m Seitenlänge Schlüsse zulassen. Für uns ist wieder nicht dieses ursächliche Problem



wichtig, sondern die Frage: Welches Bewegungsbild ergibt ein plastisch bewegter Gletscher? Dieses Bewegungsbild hat am eindringlichsten S. Finsterwalder auf geometrischer Grundlage darzustellen versucht, indem er die Gesetze der stationären Strömung von Flüssigkeiten auf die Gletscherbewegung übertrug und so ohne theoretische Voraussetzungen über die physikalischen Eigenschaften des Eises, über den Gletscher als Ganzes eine Reihe sehr einleuchtender Tatsachen ans Licht brachte, die viele Phänomene der Gletscher, die bisher schwer faßbar waren, erklären konnten.

Da der pollenanalytische Befund an verschiedenen Gletschern gerade zu dieser Theorie sehr deutliche Beziehungen aufweist, ist es nötig, sie an Hand der Originalarbeit wenigstens in großen Zügen zu besprechen.

## 2. Die Finsterwaldersche Stromlinientheorie.

In seiner berühmten Arbeit «Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung» (1897) sucht S. Finsterwalder einen neuen Gesichtspunkt, der die vielen Erfahrungen, die er und andere damals bereits über die Gletscher gesammelt hatten, einheitlich zu überschauen gestattet. Er kehrt dabei den bisherigen Theorien, die von den physikalischen Eigenschaften des Eises ausgehen, den Rücken und versucht, auf geometrischer Grundlage die Gletscherbewegung konstruktiv zu erfassen. Zunächst ein scheinbar einseitig orientiertes Denkexperiment, das seine Berechtigung jedoch dadurch gewinnt, daß es in der Natur eine verblüffend weitgehende Bestätigung findet.

Gegenstand dieser Konstruktionen ist ein Gletscher, der stationär und stetig strömt. Stationäre Strömungen zeichnen sich dadurch aus, daß ihre Geschwindigkeiten sich in verschiedenen Zeiten nicht ändern. Sommer und Winter, Tag und Nacht, Druckschwankungen u. a. m. haben also keine Geschwindigkeitsänderungen zur Folge. Stetig ist eine Strömung dann, wenn örtliche Geschwindigkeitsverschiedenheiten allmählich ineinander übergehen. Benachbarte Punkte haben also auch ähnliche Geschwindigkeiten. Der Übergang zur andern Geschwindigkeit eines entfernten Punktes ist durch kleinste Schritte allmählich eingeleitet.

Bei einer solchen stationären und stetigen Strömung beschreibt jedes Teilchen des Gletschers im Laufe der Zeit eine Stromlinie.

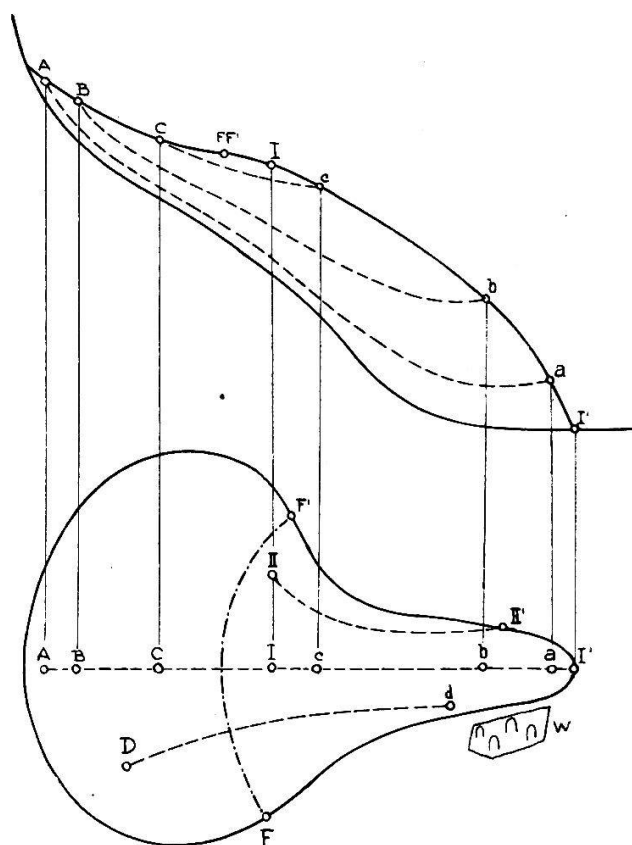


Abb. 1. Längsschnitt und Grundriß eines stationär und stetig strömenden Gletschers mit der Firnlinie FF', mit Stromlinien Aa, Bb, Cc und mit Bewegungslinien I I', II II' (nach Finsterwalder, verändert). W ein angenommener Waldleck (s. S. 128).

Solche Stromlinien sind in Abb. 1 im Gletscherlängsschnitt und im Grundriß dargestellt. Die Linie FF' deutet die Firngrenze, also die Grenzzone zwischen Akkumulations- und Ablationsgebiet an. Ein Schneeteilchen, das bei A auf die Gletscheroberfläche fällt und eingeschnitten wird, gerät im Zuwachsgebiet immer tiefer unter die Gletscheroberfläche und wird gleichzeitig in Richtung der Gletscherbewegung gegen die Firnlinie hin und unter ihr hindurch ins Abschmelzgebiet befördert. Dort nähert es sich wieder der Oberfläche und gleichzeitig dem Gletscherende, bis es schließlich bei a wieder ans Tageslicht kommt und der Abschmelzung verfällt. Ein anderes Teilchen, das bei B auf den Gletscher auffällt, gelangt rascher unter die Firnlinie, wird weniger tief eingeschnitten und kommt weiter oben als a, nämlich bei b wieder ans Licht. Noch kürzer ist der Weg eines Teilchens von C bis c. Während natürlich Teilchen, die unter der Firngrenze auf den Gletscher fallen, nur vorübergehend eingeschnitten und in die Bewe-

gung einbezogen werden, also keine Stromlinien beschreiben können. Der Verlauf der Stromlinien ist stets so, daß im Firngebiet übereinander auf der Gletscherfläche liegende Punkte, z. B. A B C im Firnabschmelzgebiet mit den entsprechenden Punkten c b a korrespondieren. Diese Umkehrung der Reihenfolge der Punkte ist ein untrügliches Kennzeichen der Gletscherbewegung im Sinne Finsterwalders und wir werden bei der Besprechung der pollenanalytischen Befunde noch auf diese Erscheinung zurückkommen.

Neben den Stromlinien sind auch noch die sogenannten Bewegungslinien konstruktiv faßbar. Eine Bewegungslinie umfaßt die Gesamtheit aller Punkte, die ein Stein, der unterhalb der Firnlinie auf die Gletscheroberfläche gelegt wird, im Laufe seiner Wanderung bis zum Zungenende einnimmt. Solche Bewegungslinien wären also z. B. die Linie I—I' und II—II'. Schließlich kann man den Gletscher noch durch Linien gleichen Auf- bzw. Abtrags in Zonen einteilen.

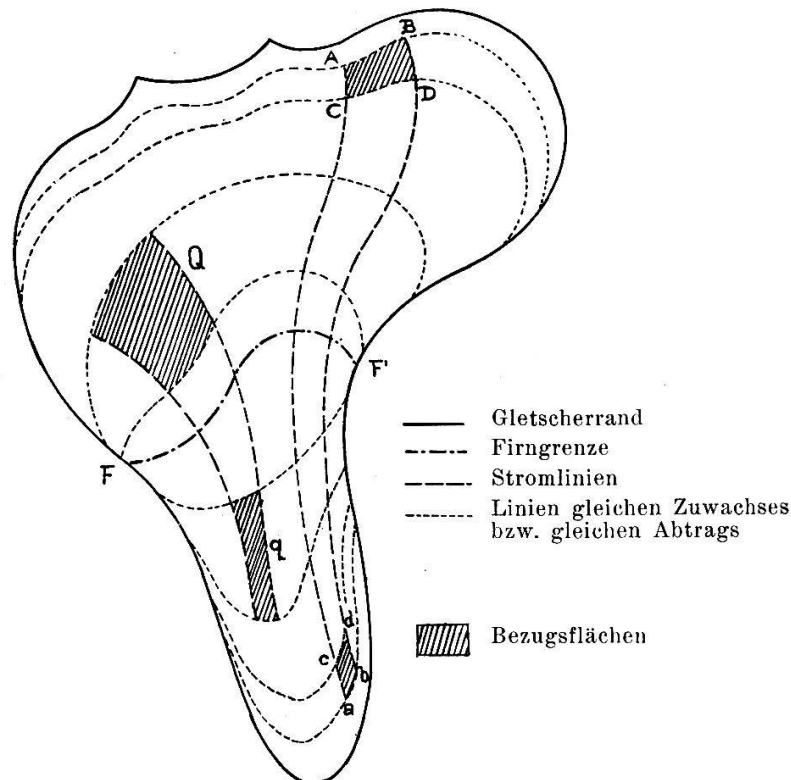


Abb. 2. Grundriß eines stationär und stetig strömenden Gletschers mit Firnlinie FF', mit Stromlinien, mit Linien gleichen Zuwachses und gleichen Abtrags und mit den entsprechenden Bezugsflächen ABCD, cdab, und Q q (nach Finsterwalder etwas abgeändert).

Man kann nun, wie Abb. 2 zeigt, einen Bezirk von bestimmter Ergiebigkeit der Akkumulation, z. B. die Fläche ABCD durch Strom- bzw. Bewegungslinien mit dem entsprechenden Bezirk gleicher Ergiebigkeit der Ablation verbinden und so jede beliebige Fläche im Zuwachsgebiet einer andern im Abschmelzgebiet zuordnen. Dabei sind die Begrenzungslinien der Flächen AB und CD Teilstücke von Linien gleichen Auftrags, cd und ab Teilstücke von Linien gleichen Abtrags. AC und BD sind auf die Gletscheroberfläche projizierte Stromlinien, ca und db ebenfalls, nur sind letztere gleichzeitig Bewegungslinien.

Die Fläche ABCD wandert also buchstäblich durch den Gletscher, dreht sich dabei um die Firnlinie in dem Sinne, daß beim Auftauchen die im Firnfeld geographisch nach unten zu gelegene Begrenzungslinie CD im Abschmelzgebiet nach oben zu liegen kommt. Genau wie vorhin für einzelne Punkte gilt auch für Flächen die Umkehrrelation. Gleichzeitig tritt bei Flächen noch die charakteristische Deformierung der Bezugsflächen auf, die sich konstruktiv aus dem Verlauf der begrenzenden Linien von selbst ergibt. In Abb. 2 ist auch noch ein zweites Flächenpaar, Q—q, das näher der Firnlinie liegt, eingezeichnet, es zeigt noch stärkere Formunterschiede der Bezugsflächen wie die Flächen ABCD—cdab.

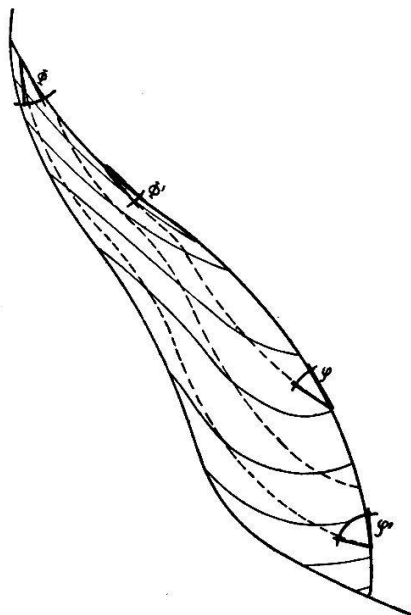


Abb. 3. Längsschnitt durch einen stationär und stetig bewegten Gletscher mit Stromlinien (strichliert) und Schichtgrenzen (ausgezogen) nach Finsterwalder).



Von den zahlreichen Folgerungen, die sich aus Finsterwalders Annahmen ergeben, interessiert uns besonders noch die Verlagerung der ursprünglichen Schichtflächen im Gletscher und ihre Beziehungen zu den besprochenen Liniensystemen, wie sie aus Abb. 3 hervorgehen. Die Stromlinien sind strichliert, die Schichtgrenzen ausgezogen eingezeichnet. Es bestehen folgende Beziehungen: Der Winkel, unter dem die Stromlinien im Firngebiet in den Gletscher einfallen, wird um so kleiner, je näher wir der Firnlinie kommen, weil nach unten zu die Akkumulation abnimmt, die Bewegung aber zunimmt. Es ist daher z. B.  $\angle \phi > \angle \phi'$ .

Dieser Größenunterschied erhält sich dem Sinne nach bei der Wanderung der Oberflächenschicht durch den Gletscher, so daß nach der bekannten Umkehrrelation dieser Winkel um so größer ist, je mehr sich die Stromlinien dem Gletscherende nähern. Neben diesem deformierten Winkel zwischen Stromlinie und ursprünglicher Oberfläche wird nun für das Austreten der Schichtflächen noch der Winkel unter dem die Stromlinien selbst austreten, wirksam. Auch dieser Winkel z. B.  $\varphi, \varphi'$  wird gegen das Gletscherende zu größer ( $\varphi' > \varphi$ ). Die Schichtflächen treten also unter Winkeln aus, die gleich der Summe beider sind. Mit andern Worten, die Schichtflächen richten sich gegen Ende des Gletschers zu auf. Berücksichtigt man nun auch noch die Geschwindigkeitsänderungen im Längsverlauf des Gletschers und die Geschwindigkeitsverminderung von der Mitte gegen den Rand zu, so ergibt sich ein klares Bild, wie die ursprünglichen Schichtflächen aussehen müssen, wenn sie im Abschmelzgebiet wieder an die Oberfläche kommen. Die Geschwindigkeitsverschiedenheiten ergeben eine Art Löffelform, die gegen das Gletscherende zu immer steiler aufgerichtet erscheint.

Eine Fülle von Erscheinungen an Gletschern schien mit dieser Theorie Finsterwalders plötzlich klar durchschaubar zu sein. Aber neben vorbehaltloser Anerkennung erscheinen (schon anlässlich der Nachmessungen am Vernagtferner) anfänglich vereinzelt, später mehr und mehr Beobachtungen, welche «in gewissen Fällen ein Gleiten des Eises über darunter befindliche Schichten» (Blümke und Heß, 1897) annehmen, und damit im Gletscher sprunghafte Geschwindigkeitsänderungen vermuten, welche mit der als stetig angenommenen Bewegungsart der Stromlinientheo-

rie in Widerspruch stehen. Die weitere Geschichte der Erkenntnis der Gletscherbewegung von F i n s t e r w a l d e r bis heute ist im wesentlichen die Auseinandersetzung darüber, inwiefern solche sprunghafte Änderungen vorkommen, und ob sie so beherrschend sind, daß der Stromlinientheorie überhaupt jede Gültigkeit abgesprochen werden muß. Der Wortführer dieser neuesten Theorien ist H. P h i l i p p.

### 3. Die Philippsche Scherungstheorie.

Im Jahre 1914 tritt P h i l i p p zum erstenmal mit ganz neuen Anschauungen über den Bewegungsmechanismus der Gletscher hervor. 1920 erscheint seine Hauptarbeit: «Geologische Untersuchungen über den Mechanismus der Gletscherbewegung und die Entstehung der Gletschertextur», der später in kleineren Beiträgen neues Material hinzugefügt wird. Im folgenden fasse ich seine Beobachtungen und Folgerungen kurz zusammen.

Unabhängig von den Spalten, treten auf allen Gletschern «Gletscherrisse» auf. Sie werden als das Ausstreichende feiner, die Eismasse weithin durchziehender Trennungsflächen aufgefaßt. Ihre Ränder sind dicht aneinandergepreßt oder klaffen um 1—2 cm, meist ist der Zwischenraum so groß, daß man eine Messerklinge einpressen kann.

Hierzu ist zu bemerken: Ich habe diese «Risse» unzählige Male beobachtet, bin aber zu der Anschauung gelangt, daß es sich dabei meist nicht um Trennungsflächen, Risse, nach H e i m (1885) Verschiebungsfugen usw. handle, sondern eben nur um Eisflächen bzw. sehr dünne Eisschichten von einer Textur, die sie von der Umgebung abheben. Durch verschiedene Schmelzbarkeit dieser Eislamellen kommt es zu einem oberflächlichen Klaffen, das nicht dazu verleiten darf, die beiden Eismassen, so wie sie auf beiden Seiten der Lamelle an der Gletscheroberfläche auftauchen, als aneinander verschiebbar zu betrachten.

Wiederholt wird erwähnt, daß diese Risse besonders schön am Grunde der Gletscher, «in den untersten 20 m» und an ihrem Rande beobachtet wurden. Meist folgen sie der Bänderung oder schneiden sie unter spitzem Winkel. Ihre Lagerung im Gletscherbett ist annähernd trogförmig. Der Abstand der einzelnen mehr oder weniger parallelen Risse voneinander beträgt ziemlich gleichmäßig  $\frac{1}{2}$  bis 2 m. Die Risse durchziehen nicht den ganzen Glet-

scher, sondern zerfallen in Teilstücke, die, durch Verwerfungen voneinander geschieden, sinngemäß einander fortsetzen. Dabei bleibt der einzelne Riß, wie mehrere einander fortsetzende Teilstücke, im allgemeinen in der Trogform. Übereinanderliegende Risse ergeben das Bild ineinandergeschachtelter Tröge (Abb. 4).

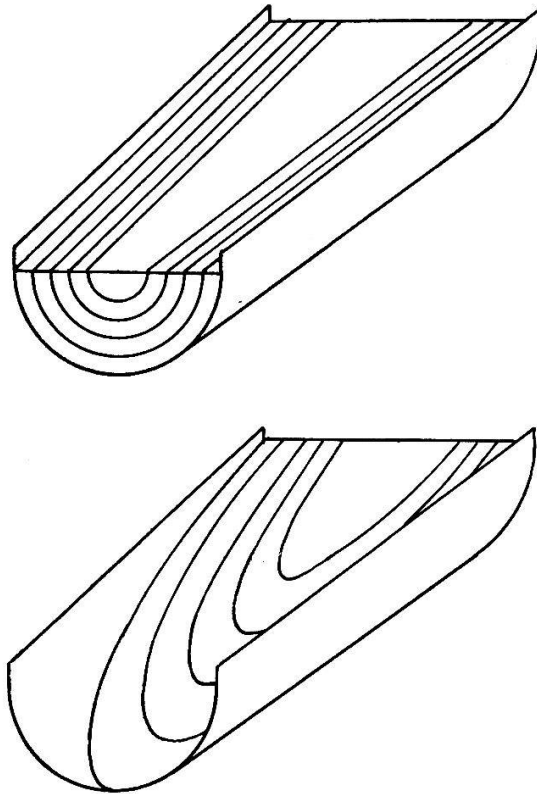


Abb. 4. Trogform der Gletscherrisse, oben in einem Gletscher ohne Abschmelzung dargestellt, unten durch Abschmelzung angeschnitten (nach Philipp).

Da die Abschmelzungsfläche den Gletschertrog schräg schneidet, so müssen die Risse auf der untern Gletscherzunge in abwärts geschwungenem Bogen verlaufen, die dann das Bild ergeben, das in der untern Figur der Abb. 4 angedeutet ist.

An solchen Rissen wurden Verwerfungen der nächstliegenden Texturen beobachtet, die ursprünglich quer zu ihnen verlaufen waren, so daß nun also diese Risse als Scherungsrisse gedeutet werden. Es ändert sich also an diesen Rissen die Bewegung des Gletschers nicht allmählich, wie es durch die zahlreichen Erfahrungen der Steinreihen (von Heim angegeben und von Heß, Blümke usw. oft ausgeführt) für die

Gletscheroberfläche im Großen nachgewiesen wurde, sondern sprunghaft.

Philipp führt dann weiter aus, daß diese Scherungsflächen mit der Bändertextur annähernd kongruent verlaufen. Die Bändertextur selbst sei nichts anderes als eine durch Vernarbung von Abscherungsflächen entstandene Differenzierung. Da nun bei Querschnittsänderungen des Gletscherbettes sich auch die Trogform der Risse ändern muß, müssen Abscherungsflächen von verschieden stark gehöhlter Konkavform entstehen. Fließt zum Beispiel der Gletscher durch eine Verengung des Bettes, so sind die neuen Scherungströge stärker gekrümmt als die durch die Bänderung dokumentierten älteren Scherungsflächen aus dem flacheren Bettabschnitt, diese müssen sich also mit jenen kreuzen und so entstehen die schon von Agassiz (1847) beobachteten, sich durchkreuzenden Systeme von Bänderungsgruppen.

Philipp stellt uns weiter in den Scherungsrissen die Hauptträger der Wasserzirkulation im Gletscher vor. Damit stellt er sich in Gegensatz zu vielen anderen Autoren, die einen die ganze Gletschermasse im Kleinen durchdringenden Wasseraustausch nicht beobachtet haben, sondern nur die gelegentliche Durchströmung in größeren Kanälen und Schächten (Ponoren).

Noch weiter entfernt sich Philipp von der bisherigen Betrachtungsweise in seinen Ausführungen über den Firnschnee. Heim (1885) spricht die allgemein geltende Ansicht über die Bedeutung der Firnschichtung wie folgt aus: «Wir erkennen überall auf den ersten Blick ganz deutlich die Schichtung, wie sie den einzelnen Schneefällen und Lawinen einerseits, den zwischenliegenden Schmelzperioden und Stauffällen andererseits entspricht.» Nach Philipp sind auch diese Firnschichten lediglich die durch Scherungsflächen voneinander getrennten, für sich schichtweise beweglichen Firnteile. Die wechselnde Folge von schmutzreichem und schmutzarmem Firn sei eine Täuschung, bei den Schmutzgrenzen handle es sich eben nicht um alte Ablationsflächen, sondern um von außen an den Firnrissen angesammelten Staub. Firnschichtung ist also kein Ausdruck verschiedener Witterungsperioden oder gar von Jahreszeiten, sondern Ausdruck der Bewegung von Firnschichten.

Nach Messungen, die Philipp mit Hafferl am Unteraargletscher ausführte, braucht das Maximum der Gletscherbewe-

gung nicht, wie durch die bisherigen Messungen erschienen sei, an der Oberfläche der Gletscher zu sein, sondern könne auch tiefer liegen.

Philipp setzt also Scherungsbewegungen größten Ausmaßes für alle Teile des Gletschers vom Firn bis zur Zunge voraus. Es handelt sich vor allem um ein Verschieben der höheren Lagen über die tieferen, um ein Überkragen der oberen Schichten. Den Hauptanteil der Bewegung ergibt nicht die Translation, auch nicht die Regelation, sondern das Übereinandergleiten in sich fest zusammenhängender Gletscherteile. Zwischen diesen Teilen ändert sich die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung sprunghaft. Damit stellt sich Philipp in scharfen Gegensatz zur Bewegungstheorie fast aller andern Autoren, vor allem aber auch zu derjenigen Theorie, die bis jetzt durch zahlreiche Übereinstimmungen zwischen ihren Bedingungen und den Beobachtungen und Messungen an Ort und Stelle, am meisten Wahrscheinlichkeit für sich buchen konnte, zur Finsterwalderschen Theorie. In der Diskussion setzt sich Philipp zwar sehr eingehend mit der Ansicht Crammers (1907) auseinander, nach der die Firnschichtung durch stets intensivere Faltung allmählich in Blätterung übergehe, vermeidet aber die Auseinandersetzung mit der Finsterwalderschen Theorie. Gerade diesen Punkt aber werden wir später noch zu berühren haben.

Ich glaube, es sind schon so viel theoretische Erörterungen um das Gletscherphänomen geführt worden, daß ein wahres Bild desselben auf diesem Wege kaum mehr zu erreichen ist. Damit erkläre ich mir auch, daß die neuen und umwälzenden Gedanken und Folgerungen Philipps nur in ein paar recht matten Entgegnungen zu widerlegen versucht wurden. Es ist höchste Zeit, hier endlich den Schritt von der Spekulation, die von den wenigen Erfahrungen ausgeht, die auf der Gletscheroberfläche möglich sind, zur Empirie machen. Die Erfahrungen, auf denen unsere empirische Arbeit beruhen soll, müssen auch in die Tiefe des Gletschereises hinabreichen, dessen Aufbau sich uns durch ein mikroskopisch kleines Leitfossil, den darin eingelagerten Blütenstaub stratigraphisch gliedert. Die Methode, die diese neuen Einsichten ermöglicht, ist die Pollenanalyse.

## B. Die Pollenanalyse als neue glaziologische Methode.

### 4. Der Pollenregen.

Schnee, Regen und Hagel sind nicht die einzigen Arten von Niederschlägen, die auf die weiten Firnfelder der Gletscher herabfallen, sie sind nur die wichtigsten und auffälligsten Erscheinungsformen. Daneben und mit ihnen sinkt auch ein fast pausenloser Regen von Staub auf den Firn. Es handelt sich hierbei um beträchtliche Mengen. J e n n y (1926) fand beispielsweise im Val Cuoza einen jährlichen Staubniederschlag von  $\pm 15\,000$  kg pro Hektar. Dieser Staub ist zur Hauptsache der Detritus der umgebenden, durch keinen Eismantel vor der Verwitterung geschützten Felsberge; daneben enthält er Meteorstaub und organogene Partikelchen. Unter diesen ist auch der Blütenstaub, der Pollen vieler windblütiger Pflanzen mit gelegentlich beigemischten Pollen von Insektenblütlern. Dieser Pollen ist in bestimmten Grenzen auf seine Herkunft hin bestimmbar, und ist außerordentlich widerstandsfähig gegen äußere Einwirkungen.

Die verschiedenen Höhenstufen der Alpen sind nun in ganz verschiedener Weise an der quantitativen und qualitativen Zusammensetzung des Pollenregens aus den Pollen verschiedener Arten beteiligt. Das Firnfeld selbst liegt in der Nivalstufe. Das Pflanzenleben dieser Stufe ist so reduziert, daß es sich im Pollenregen nicht mehr dokumentieren kann. Höchstens könnte ein Reichtum an mauerförmigen und parallel-mehrzelligen Askosporen, der im Pollenregen mancher Firngebiete nachgewiesen werden kann, auf die besonders im Urgebirge mächtig entwickelte Flechtenflora zurückgehen. Die alpine Stufe kann schon viel mehr Pollen liefern. Weiden, Mähder, Wildheuplanken und gelegentlich Streuwiesen tragen einen großen Bestand windblütiger Gramineen und Cyperaceen. Die alpine Ericaceenheide besteht zwar fast durchwegs aus insektenblütigen Pflanzen, trotzdem wird ihr Pollen, wie später gezeigt wird, regelmäßig auch durch den Wind verbreitet. Es kommen hier folgende Arten, deren Pollen zum Teil durch die Untersuchungen O v e r b e c k s (1934) unterscheidbar gemacht wurde, in Betracht: *Vaccinium Myrtillus*, *V. Vitis idaea*, *V. uliginosum*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Rhododendron ferrugineum*. Die stärksten Pollenlieferanten dieser Zone



sind unzweifelhaft Legföhre, *Pinus montana-prostrata* und *Alpen-erle*, *Alnus viridis*. Im ganzen darf aber die Pollenproduktion in ihrer Massenwirkung nicht überschätzt werden. Die Ungunst des Klimas oberhalb der Baumgrenze setzt die Pollenfertilität herab; viele Blütenstände (besonders die von Umbelliferen und Gräsern) werden vor dem Ausstäuben des Pollens durch Beweidung vernichtet. Von L ü d i und V a r e s c h i (1936) wurde die Pollenproduktion dieser Stufe durch Beobachtungen und Messungen für das Davoser Hochtal eingehend besprochen: «Hier ist das Blühen nicht nur absolut genommen sehr viel schwächer (als in der subalpinen Stufe), sondern auch viel ausgeglichener ... schließlich wirkt auch die Beweidung des weitaus größten Teils der alpinen Rasenflächen mit ihrer gleichmäßig andauernden, aber extensiven Nutzung auf ein geschwächtes ... Blühen der Gräser und anderer Weidepflanzen hin ... die Kurve (der absoluten niedergeschlagenen Pollenmengen) vom Weißfluhjoch (2670 m) ... ist ganz allgemein durch niedrige Werte charakterisiert.»

Die subalpine Stufe läßt sich in zwei Höhengürtel unterteilen: Den Nadelwaldgürtel und darüber den Gürtel der Kampfzone, das Gebiet zwischen Wald- und Baumgrenze. In letzterer Zone spielt neben Fichte, Lärche, *Alpen-erle* und Latsche vor allem die Zirbe, *Pinus cembra*, eine Rolle. Im ersteren ist die Fichte der unbedingt herrschende Waldbaum. Die Birke kommt vereinzelt vor, ihr Mengenverhältnis zu den andern Holzarten bleibt von da ab nach unten zu an vielen Stellen der Alpen ungefähr konstant. Auch hier sind durch eingesprengte Rodungen große Gramineen- und Cyperaceenpollenmengen zu erwarten.

In der montanen Stufe hat in kontinentalen Gebieten der Zentralalpen die Waldföhre in riesigen Beständen oft weithin die Vorherrschaft im Wald. Ihre Pollenproduktion ist außerordentlich stark. In ozeanischeren Gebieten kommt Weißtanne und Buche vor. Fast stets sind hier Fichten, Haseln, Grau- und Schwarzerlen, oft auch Eiche, Linde, Ulme und Kastanie anzutreffen. In diese Stufe fällt auch die Hauptverbreitung der gedüngten Mähwiesen und Kornfelder, die große Pollenmassen zur Ausstreuung bringen. Die Pollenproduktion ist sowohl durch klimatische Vorteile erhöht, als auch durch die erst meist nach dem Blühen erfolgende Mahd begünstigt. Diese Fettwiesen liefern auch manche Arten insektenblütiger Pollen gelegentlich oder

mehr oder weniger regelmäßig dem Wind aus. Insbesondere sind es folgende Gattungen und Familien, die gelegentlich als Bestandteile des Pollenregens noch wichtig sind: Liliaceen, Polygonum, Charyophyllaceae, Umbelliferae, Campanulaceae, Compositae.

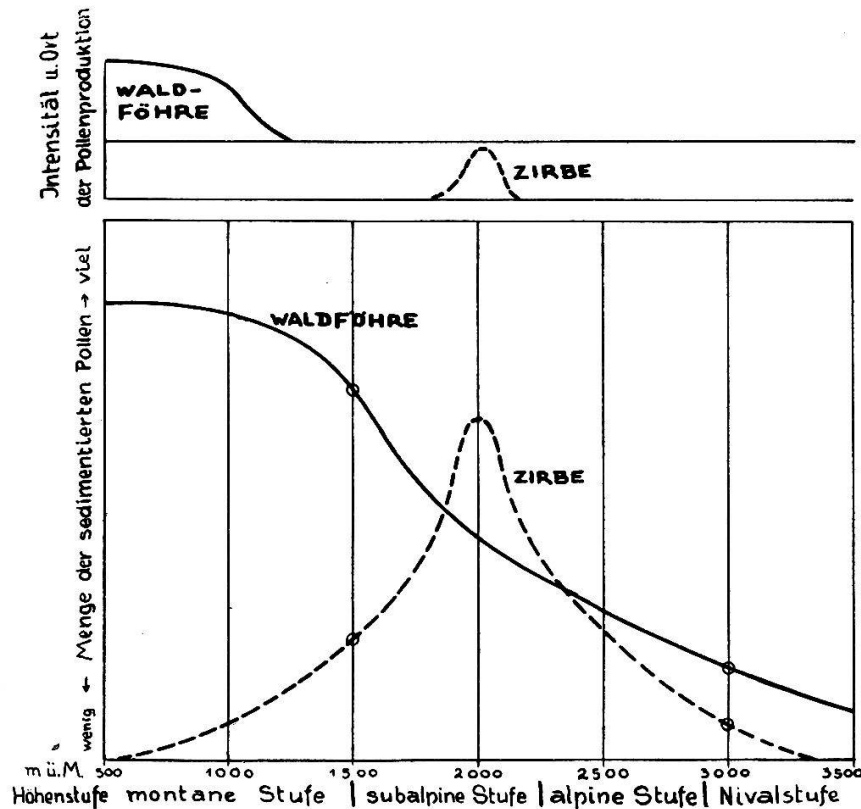


Abb. 5. Verhältnis zwischen der räumlichen Verteilung der Pollensender einerseits und dem dadurch bedingten Pollenregen anderseits. Die bezeichneten Kurven zeigen, daß ein prozentuales Verhältnis des Pollenniederschlages der tieferen Lagen in den Hochlagen neuerdings auftreten kann.

Welchen Anteil werden nun die einzelnen Holzarten und die Gramineen in den einzelnen Stufen am Pollenregen haben, der im Gebiet des Firnfeldes niedergeht? Um diese Frage einigermaßen sicher beantworten zu können, wurde im Gebiet des Oberbergtales (Hochstubai) in verschiedener Meereshöhe durch zwei Jahre hindurch der Pollenregen in Schalen aufgefangen und die Pollenzahlen bestimmt. Bezüglich der dort gefundenen Werte sei auf die Originalarbeit verwiesen (Vareschi, 1940). Hier soll durch die Abbildung 5 an Hand zweier Holzarten gezeigt werden, wie sich die Verteilung der Pollensender und ihre verschieden starke Pollenproduktion auf den Pollenregen auswirkt. Die Abbildung



soll nur allgemeine, größenordnungsmäßige Werte bringen, die Kurven beruhen auf den eigenen Erfahrungen im Oberbergthal und auf den von W. S c h m i d t berechneten, von F i r b a s (1934) veröffentlichten analogen Diagrammen.

Die Abszisse zeigt die Meereshöhen bzw. Höhenstufen. Die Ordinate gibt schätzungsweise im oberen Teil der Abbildung die Verbreitung und die Pollenproduktion der zwei Holzarten, im unteren den ihr entsprechenden Pollenniederschlag wieder. Zunächst die Waldföhre. Die weite Verbreitung und die starke Pollenproduktion bedingt einen nur langsamen Abfall der Niederschlagskurve mit der Entfernung. Die Zirbe dagegen, die lokal eng beschränkt vorkommt und in der Pollenproduktion gegenüber der Waldföhre zurücksteht, kann zwar lokal auf kurze Entfernung hin den Pollenregen entscheidend beherrschen; der Abfall der Kurve ist jedoch so stark, daß eine Überschneidung der Kurven erfolgen muß. So kommt es, daß z. B. das Pollenniederschlagsverhältnis von Waldföhre zu Zirbe bei 1500 m und bei 3000 m gleich groß ist, nämlich 3 : 1. Es kann also bei der großen Entfernung des Firnfeldes vom Entstehungsort der Pollen in großer Meereshöhe ein Pollenniederschlag aufgefangen werden, der ein Waldbild vortäuscht, das eigentlich einer tieferen Höhenstufe entsprechen würde. Tatsächlich wurden diese Verhältnisse bei den Pollenauffangschalen im Oberbergthal einwandfrei festgestellt. Dort entsprach der montanen Stufe im Silltal ein starker Waldföhrenbewuchs mit etwas Haseln und vereinzelt Ulmen, Eichen und Linden, der subalpinen Stufe Fichtenwald, dem Kampfgürtel vor allem Zirbenwald. Während in den Pollenschalen aus der subalpinen Stufe der Anteil der Zirbe am Pollenregen deutlich wurde, die Laubhölzer dagegen fast völlig zurücktraten, war in der Nivalstufe die qualitative Zusammensetzung viel mehr an das Waldbild der montanen Stufe gebunden, als an das rein entfernungsmäßig näherliegende Waldbild der subalpinen Stufe.

F i r b a s hat bereits mehrfach (1926, 1934) auf diese Verhältnisse aufmerksam gemacht. In meiner ersten vorläufigen Mitteilung «Pollenanalysen aus Gletschereis» (1935) wurde festgestellt, daß «ein in geringer Meereshöhe liegender Bezirk durch seine Pollenstreuung das Gesamtbild (des Pollenniederschlags im Bereich des Gletschers) einseitig verzerrt.» Diese Bemerkung möchte ich im Rahmen der oben angedeuteten und auch von F i r b a s

(1934), Auer (1927) und Lüdi (1932) festgestellten Gesetzmäßigkeit verstanden wissen. K. Bertsch folgert in seinem Buch «Der deutsche Wald im Wechsel der Zeiten» (1935) aus meinen Feststellungen im Aletschgebiet: «Damit ist das Glanzstück pollenanalytischer Klimadeutung in seiner Beweiskraft entwertet, und wir fassen jene Befunde nur noch als gleichsinnige Erscheinungen auf, die nur dann überzeugen können, wenn sie durch das Vorkommen fossiler Hölzer oder Früchte gestützt sind.» Ich bin überzeugt, daß dieser Schluß zu weit gegriffen ist. Der verzerrende Faktor bei der Weitflugauslese ist ja die große Entfernung zwischen Wald und Niederschlagsort, die bei Gletschern Ausmaße annimmt, die bei den üblichen Analysen aus Mooren nur ganz ausnahmsweise in Frage kommen. Gewöhnlich dürfen wir ja die Entfernung zwischen dem die Zusammensetzung des Pollenregens bestimmenden Wald und dem als Auffangfläche dienenden Moor nur auf Bruchteile jener Entfernungen einschätzen. Dazu kommt der später zu besprechende Einfluß des Windes und der im Falle der Gletscher verschiedenen Meereshöhe von Pollensender und Pollenauffangfläche. Nur unter ganz besonderen Umständen, bei Untersuchungen von hochgelegenen Mooren und vielleicht bei Aspekten, die aus der Einwanderungszeit von neuen Holzarten stammen, ist die Möglichkeit einer solchen Verzerrung gegeben. In allen anderen Fällen bleibt das «Glanzstück pollenanalytischer Klimadeutung» unangetastet. Für die Einschätzung des Pollenregens auf Gletschern sind diese Umstände jedoch stets in Betracht zu ziehen, und zwar wird die auslesende Wirkung des Weitfluges umso deutlicher, je weiter das Firnfeld von der Waldvegetation entfernt ist.

Eine andere Möglichkeit, daß der Pollenregen im Gletschergebiet quantitativ andere Werte ergibt, als nach den vorhandenen Holzartenmengen erwartet werden könnte, ist die, daß zwar eine Holzart in verschiedenen Höhenstufen gleichmäßig vorkommt, ihre Pollenproduktion jedoch mit der Meereshöhe infolge Einwirkung des Höhenklimas oder dem Auftauchen anderer Rassen abnimmt. Die Prozentkurve des Anteils der Birkenpollen am Gesamtpollen, die im Oberbergthal erzielt wurde, war durch folgende Werte mit steigender Meereshöhe bestimmt:

1000 m 13 %, 1262 m 4 %, 1580 m 3 %, 2147 m 3 %, 3173 m 1 %.

Die entsprechenden Mengenverhältnisse der Birke entsprechen nicht diesen Zahlen. Die Birke war im ganzen Gebiet von 1000 m bis 2000 m ungefähr in gleicher Menge vorgefunden worden, der starke Birkenpollenniederschlag bei 1000 m muß also mit verschiedener Pollenfertilität erklärt werden.

### 5. Pollentransport durch Wind.

Unmittelbar oder auf Umwegen kann jede beliebige Windrichtung zu einem Pollentransport ins Gletschergebiet führen. Es lassen sich jedoch in den Alpen bestimmte Luftströmungen als besonders wichtig für die Pollenverfrachtung feststellen. Es handelt sich dabei weniger um die allgemeinen Windrichtungen im großen, als vielmehr um Lokalwinde. So darf insbesondere die Wirkung des Westwindes, die in kleineren Gebirgen Mitteleuropas, wie z. B. in der Tatra (S o k o l o w s k i, 1928) noch unbedingt vorherrschend ist, in den zentralen Hochalpen nicht überschätzt werden. Hier sind es neben dem Föhn die regelmäßigen Berg- und Talwinde, die für den Transport der Pollenmassen aus den Vegetations- in die Gletschergebiete in erster Linie in Frage kommen. Dazu kommt noch der Luftaustausch in senkrechter Richtung, sei es der als Reibungsturbulenz, sei es der durch thermische Differenzen erzeugte (vgl. R e m p e, 1937).

Die Frage, wie der Blütenstaub im Luftraum verteilt ist, ist mehrfach durch Blütenstaubzählungen von Proben, die bei Flugzeugaufstiegen in verschiedenen Höhen exponiert wurden, geprüft worden. Insbesondere R e m p e (1937) hat so großes Material gesammelt, daß wir uns darüber eine weitgehend gesicherte Vorstellung machen können. In geringer Höhe über der Vegetation (Wald) selbst sind selbstverständlich auch große Pollenmassen zu finden. Jedoch liegt das Maximum erst in einer Höhe zwischen 50 und 500 m über dem Boden (siehe auch S c h e p e g r e l l, 1929, W i g a n d, 1919). Zwischen 500 und 1000 m nimmt die Pollendichte langsam, zwischen 1000 und 1500 m rasch ab. Bei Tage, insbesondere bei Schönwetter, ist die Abnahme nach oben allmählich, bei höherer Windgeschwindigkeit und bei einer Wetterlage mit Stratusdecken rasch. Die Tendenz des Absinkens auf den Boden ist bei Nacht am stärksten.

Die Größe der Pollen ist sehr wechselnd (zwischen 20 und 120  $\mu$ ), ebenso haben sie eine verschiedene Oberflächenentwick-

lung, verschiedenes Gewicht und, im Zusammenhang damit, eine verschiedene Sinkgeschwindigkeit. Aus den Erfahrungen fast aller Autoren, die sich mit dem Einfluß dieser Differenzen befaßten, geht jedoch hervor, daß nur bei windstillen Zeiten, während der Nacht manchmal eine Auslese nach diesen Differenzen festgestellt werden kann. Und auch da dürfte es sich nur um die extremsten Fälle, etwa um ein rascheres Absinken von Fichte (Sinkgeschwindigkeit nach K n o l l [1932] 8,7 cm/sek) und Buche (5,5 cm/sek) als von Erle (1,7 cm/sek) und Birke (2,4 cm/sek) handeln. Die starke Unterrepräsentation der Fichte gegenüber der Erle in meinen Pollenproben aus dem Gebiet des Alpeinerferners (l. c.) darf jedoch nicht mit der verschiedenen Sinkgeschwindigkeit der beiden Pollenarten erklärt werden. Sie ist vielmehr auf verschiedenen starke Pollenproduktion der beiden Holzarten zurückzuführen. Wären die Sinkgeschwindigkeiten für die Weitflugauslese der beiden Pollen verantwortlich, dann müßte auch der Gramineenpollen in großer Meereshöhe wegen seiner geringen Sinkgeschwindigkeit überrepräsentiert sein, was nicht der Fall ist.

Der Tal- und Bergwind wird also, wenn er mit Pollen durchsetzte Luftmassen zum Austausch bringt, von vornherein auf die oben angedeutete Schichtung der Pollendichte stoßen. Seine Wirkung kann am besten im Gebiet des Rhonetals, dem klassischen Beispiel eines Alpenlängstales mit regelmäßigem Talwind, beobachtet werden. Wir beschäftigen uns aber nicht mit dem Rhonetal selbst, sondern mit jenem nach Norden führenden Zweigtal der Massa, das uns ins Gebiet des Großen Aletschgletschers, das wir später immer wieder als Untersuchungsobjekt heranziehen werden, führt.

Um die Talwinde, die für den Pollentransport auf den Aletschgletscher in Betracht kommen, zu untersuchen, wurden an schönen Augusttagen des Jahres 1933 17 Pilotballonaufstiege mit dem Theodoliten verfolgt und die Flugbahnen später berechnet (V a r e s c h i, 1935). In die Abb. 6 sind die Resultate von vier charakteristischen Flügen eingezeichnet. Ebenso ist links unten die graphische Darstellung der Windhäufigkeit im Rhonetal selbst angezeigt. Der Talwind (SW-Wind) herrscht über alle anderen Windrichtungen vor. Aus den vier Flugbahnen ergibt sich folgendes: Ganz gleichgültig, welcher Wind in großer Höhe (über 1000 m) herrscht (Westwind an den drei untern Stationen, Nord-

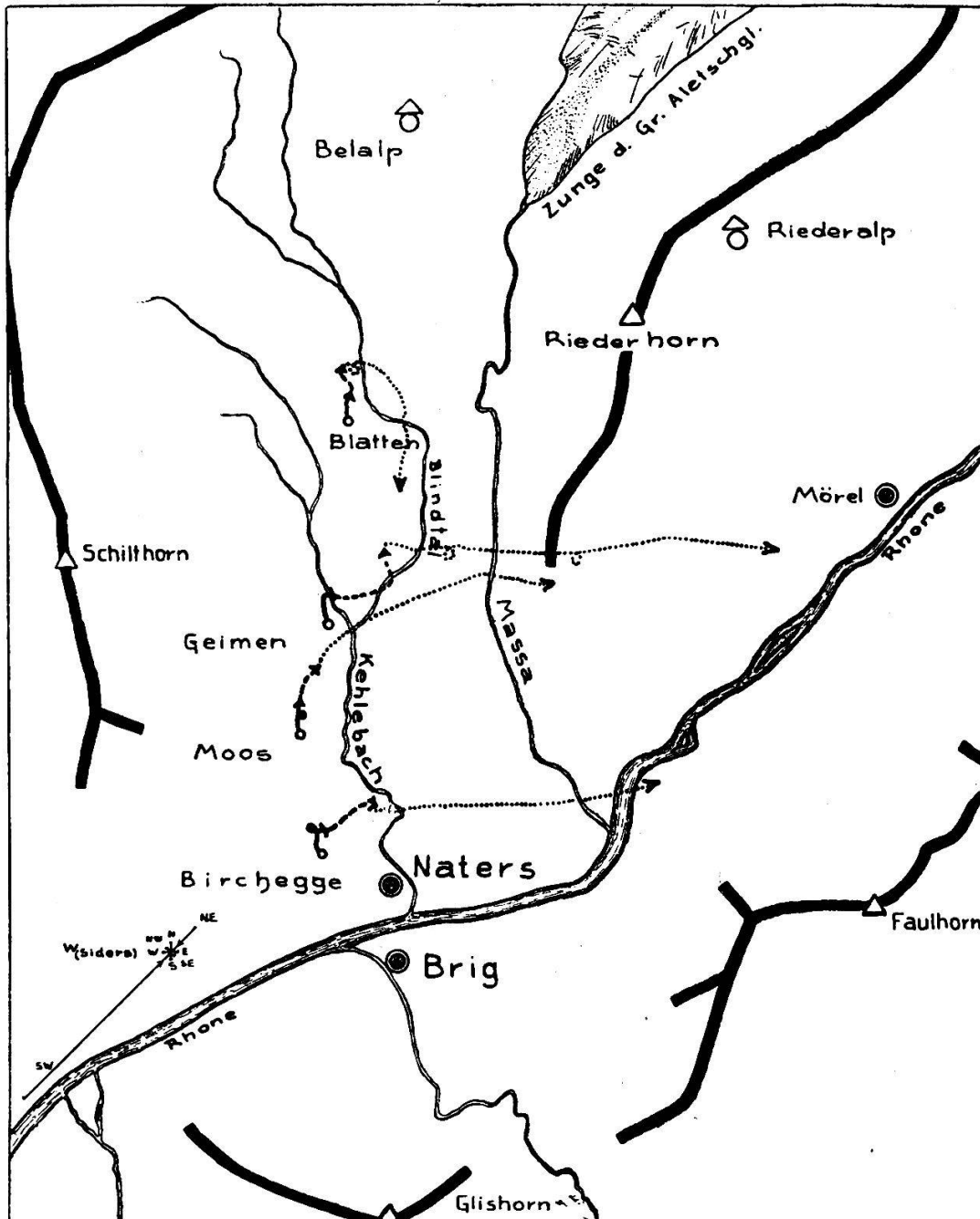


Abb. 6. Kartenskizze des Massatales. W = Graphische Darstellung der Windhäufigkeit im Rhonetal bei Siders. Für vier Orte des Massatales ist je eine charakteristische Ballonbahn eingetragen: 0—500 m über dem Boden = ausgezogene Linie. 500—1000 m über dem Boden = strichlierte Linie, darüber hinaus ist die Ballonbahn punktiert. 1:83 000.

wind bei Blatten), in der Zone unterhalb 500 m über dem Talboden ist stets der Talwind (hier eine Abzweigung des Rhonetalswindes Massa-aufwärts) führend. Zwischen 500 und 1000 m ist er ebenfalls noch spürbar, er kämpft z. B. bei Geimen mit



wechselndem Erfolg mit dem allgemein herrschenden Westwind, oder setzt sich noch bis über 1000 m hin gegen ihn durch (M o o s). Für uns ist die Feststellung wesentlich: selbst in einer so unbedeutenden Talfurche, wie sie die Massa in die Südosthänge des großen Rhonetales legt, beherrscht der Talwind gerade in jenen Höhen über dem Boden die Luftströmungen, in denen nach den Feststellungen von Rempe u. a. die größte Pollendichte herrscht. Es werden hier also sicherlich große Pollenmengen auf dem kürzesten Weg aus den tiefsten Talfurchen auf die Gletscher transportiert.

Zu dieser räumlichen Übereinstimmung von Windeinwirkung und Pollendichte kommt noch eine zeitliche. Die Häufigkeit und Heftigkeit des Talwindes nimmt vom März an rasch zu und ist bereits im April so stark wie im Sommer. Das Maximum fällt in den Frühsommer. Der Talwind beginnt in den frühen Vormittagsstunden und erreicht zwischen 15 und 16 Uhr sein Maximum, nämlich durchschnittlich 25 Stundenkilometer. Wird er durch die allgemeine Windlage gefördert, so sind viel größere Geschwindigkeiten möglich (Billwiler, 1914). Die Hauptblütezeiten der Bäume sind die Monate April bis Juli. Die stärkste Pollenabgabe an die Luft erfolgt an schönen Tagen am Vormittag und dauert bis gegen den frühen Nachmittag hin an. Dann also, wenn der Talwind am stärksten weht, ist auch die Pollenproduktion am stärksten.

Selbstverständlich ist die Wirkung des Talwindes nicht überall so stark wie im Rhonetal. Daß sie aber auch in anderen Gebieten sich im Pollenniederschlag dokumentiert, zeigt ein Blick auf die Pollenniederschlagsverhältnisse im Oberbergthal (Vareschi, 1940).

Diesem bei Tage auftretenden Talwind folgt nachts ein ungleich schwächerer Bergwind. Die geringeren Windgeschwindigkeiten und die Strahlungsbedingungen der Nacht (Defant, 1919) bedingen nun ein vermehrtes Absinken der unter Tag emporgetragenen Pollen (Rempe, 1937). Zweifellos führt auch dieser Umstand zu einer besondern Anreicherung des Pollenniederschlags in den großen Firngebieten, die als die Heimat der nächtlichen Fallwinde bezeichnet werden können.

## 6. Die Pollenaspekte.

Die Pollenproduktion ist an den jahreszeitlichen Aspektrhythmus der Vegetation gebunden. Ebenso der Pollenniederschlag, nur ist bei diesem die Bindung lockerer. Der Pollenregen folgt der Pollenproduktion sogleich, hört jedoch nicht gleichzeitig mit ihr auf; die Luft gibt die empfangenen Pollenmassen erst nach und nach wieder ab, wobei gelegentlich noch mitspielt, daß bereits sedimentierter Pollen wieder aufgewirbelt wird und später von neuem absinkt.

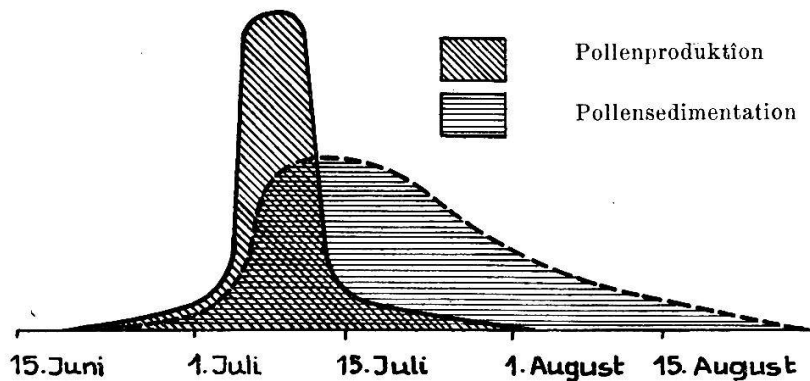


Abb. 7. Beziehung zwischen Pollenproduktion und Pollensedimentation der Linde in der Zeit zwischen dem Blühbeginn und dem Absinken der letzten Pollen (schematisch).

Das Blühen und der Pollenregen stehen miteinander in der Art in Beziehung, wie es Abb. 7 am Beispiel der Linde (für Innsbruck 1937) zeigt:

- Beginn des Blühens: 20. Juni.
- Allmähliche Zunahme des Blühens: 20. Juni bis 1. Juli.
- Rasche Zunahme des Blühens: 2.—5. Juli.
- Blühmaximum: 6.—11. Juli.
- Rasche Abnahme des Blühens: 12.—15. Juli.
- Allmähliches Abklingen des Blühens: 16. Juli bis 3. August.
- Ende des Blühens: 3. August.

Fast gleichzeitig mit dem Beginn des Blühens wird der erste Pollen sedimentiert. Dann reichert sich die Luft mehr und mehr mit Pollen an, gibt ihn jedoch nur allmählich wieder ab. So kommt es, daß die Kurve des Pollenniederschlages ein viel flacheres Maximum aufweisen muß und die Pollenstreuung weit über den 3. August bis gegen Ende August hin anhält. Gelegentliche Nachzügler erscheinen natürlich oft erst viel später. Selbstverständlich wird dieser schematisch wiedergegebene Grund-

typus der Pollenproduktion und Pollensedimentation durch den Wechsel von Tag und Nacht, durch Witterungseinflüsse und durch die Windverhältnisse in gewissen Grenzen variiert. Der Abfall der Niederschlagskurve muß bei Pollen mit großer Sinkgeschwindigkeit etwas rascher erfolgen, als bei langsam absinkenden, die sich länger in der Luft halten können.

Abb. 8 bringt eine Übersicht der Blütezeit, der Pollenproduktion und der Pollensedimentation für die wichtigsten Pollenlieferanten während eines Jahres. Zur Zusammenstellung dieser Übersicht, der die Verhältnisse im Oberbergthal im Stubai zugrunde liegen, wurden neben dieser Arbeit zahlreiche Angaben in der Literatur mitberücksichtigt, so insbesondere die Beobachtungen von L ü d i und V a r e s c h i (1936), L ü d i (1937), R e m p e (1937), B e r t s c h (1935) und phänologische Literatur, besonders die Arbeiten von I h n e (1929 ff.), schließlich durch meine Erfahrungen an verschiedenen Gletschern.

*Corylus*: Blüht früh, das Blühen wird oft durch Fröste für kurze Zeit unterbrochen (I h n e, 1929), die Produktion ist reichlich, die Sedimentation geht, nachdem der erste Schub niedergeschlagen ist, nur sehr langsam zu Ende.

*Alnus incana*: Der zweite, große Pollenlieferant. Das Blühen setzt noch während des Haselgipfels ein, erreicht aber das Maximum deutlich später als *Corylus*. Die Pollenproduktion ist so reichlich, die Sedimentation so langsam, daß das ganze Jahr hindurch bis zum Einsetzen der nächsten Blütezeit Pollensedimentation nachgewiesen werden kann.

*Salix*: Die vielen *Salix*-arten blühen zu verschiedenen Zeiten. Pollenanalytisch sind sie nicht zu trennen. Daher kommt es, daß wir für die ganze Gattung eine so große Blütezeit von Anfang März bis Ende September ansetzen müssen, wobei die Monate Juli und August durch die Blütezeit der Gletscherweiden hinzukamen. Die Sedimentation ist allmählich.

*Ulmus*: Die einzelne Ulme produziert bekanntlich sehr viel Pollen, bei der Spärlichkeit ihres Vorkommens ist jedoch ihre Gesamtproduktion nur gering. Immerhin ist sie als charakteristisch für die erste Blühperiode von Bedeutung.

*Betula*: Die Pollenproduktion nahm im Oberbergthal 1937 und 1938 mit steigender Meereshöhe deutlich ab. Deshalb das eindeutige Maximum am Beginn der Blütezeit und ein allmähliches Ab-



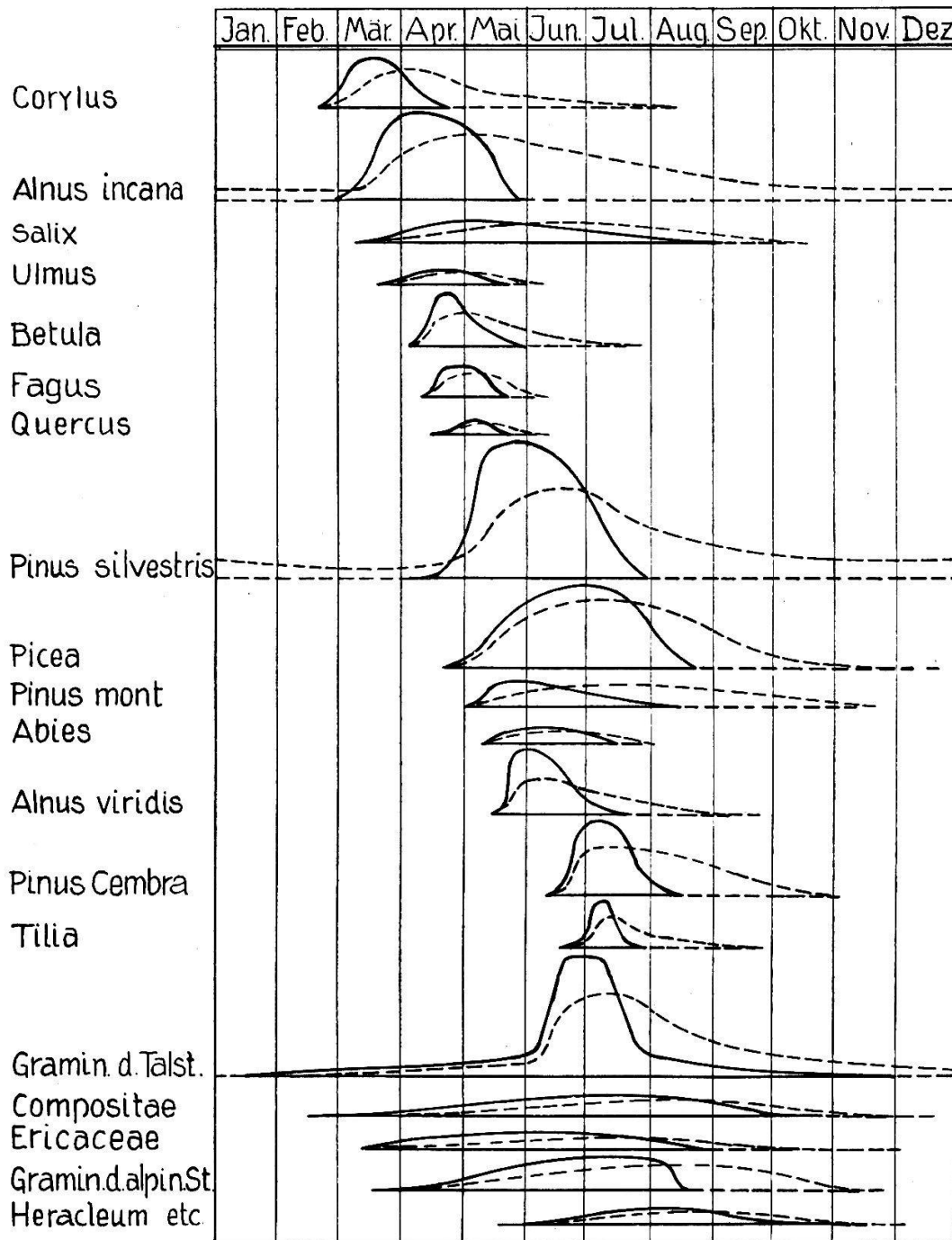


Abb. 8. Blütezeit, Pollenerzeugung (ausgezogene Kurven) und Pollensedimentation (gestrichelte Kurven) der wichtigsten Pollenproduzenten während eines Jahres.

klingen gegen Ende derselben. Die Gesamtproduktion ist viel geringer, die Sedimentation dagegen ebenso langsam abflauend wie bei Corylus.

*Fagus*: Dieser Pollen wurde im Oberbergtal nicht gefunden. Die Blütezeit ist kurz, die Sedimentation rasch. Ähnlich verhält sich die fast gleichzeitig blühende Eiche, die gelegentlich auffällig weithin verschleppt wird.

*Pinus silvestris*: Die Waldföhre ist der stärkste Pollenproduzent des Jahres. Ende April schon setzt ihr Blühen mit Macht ein, erreicht um Anfang Juni das Maximum und endet Mitte Juli. Die Sedimentation geht wegen der großen produzierten Masse und wohl auch wegen der geringen Sinkgeschwindigkeit das ganze Jahr hindurch vor sich.

*Picea*: Die Pollenproduktion des Einzelbaumes ist im Vergleich zur Föhre gering, die Massenausbreitung der Fichte in unseren Bergtälern sorgt jedoch immerhin für eine gewaltige Pollenproduktion, so daß gegen Ende Juli mehr *Picea* sedimentiert wird als *Pinus*. Die Sedimentation geht ziemlich rasch vor sich, doch kommen einzelne Nachzügler noch mitten im Winter zum Niederschlag.

*Pinus montana*: Da unsere Gletscher fast alle im Urgebirge liegen, ist die Massenwirkung der Latsche nicht hoch anzuschlagen. Der Pollen ist übrigens von *Pinus silvestris* schwer zu trennen.

*Abies alba*: Tritt im Pollenregen der Firnfelder sehr zurück. Sedimentiert rasch.

*Alnus viridis*: Der Beginn des Blühens fällt mit dem letzten Teil der Blütezeit von *Alnus incana* zusammen, das Maximum ist jedoch deutlich später. Die Pollen beider Arten sind nicht zu trennen, deshalb findet man bei manchen Beobachtern eine doppelgipfelige Alnuskurve im Jahresbild. Für diese Art, wie für die folgende gilt die Beobachtung eines sehr raschen, fast «explosiven» Aufblühens, und eines allmählichen Abflauens. Sinkgeschwindigkeit sehr gering.

*Pinus cembra*: Produktion und Blühverlauf ähnlich *Alnus viridis*, Maximum jedoch erst Anfang Juli. Sedimentation eher rasch wie bei *Picea* als ähnlich dem morphologisch so nahestehenden *Pinus silvestris*-Pollen verlaufend.

*Tilia*: Bei der Spärlichkeit der Lindenvorkommen in den Alpentälern ist dem Einzelbaum eine mächtige Pollenproduktion zuzuschreiben. Die Linde kennzeichnet die letzte Blühperiode der Holzgewächse. Ihre Sedimentation ist mittelschnell. Der Pollen ist

im Pollenregen der Firnfelder immer nur spärlich vertreten, *wenn* er jedoch gefunden wird, so ist er charakteristisch für den Monat Juli und August.

*Ericaceae*: Vom Blühen der *Erica carnea* über die Blütezeit der Vaccinien und Rhododendren bis zum Verblühen von *Calluna* ist es eine so lange Blütezeit, daß trotz an sich schwacher Produktion (unter Produktion ist hier natürlich nur der an die Luft abgegebene Pollen gemeint, der von Insekten verschleppte oder der in der Blüte verbliebene kommt für uns nicht in Betracht) bei langsamer Sedimentation Ericaceen bis in den Winter hinein gefunden werden. Ähnlich steht es auch mit den Kompositen.

*Gramineen*: Bei den Gramineen (und den im großen und ganzen sich ähnlich verhaltenden Cyperaceen) erfolgt das Blühen fast das ganze Jahr hindurch. Ende Juni oder Anfang Juli kommt jedoch jener gewaltige Pollenschub, der von den Heufieberkranken so gefürchtet ist und auch in den Niederschlagsmessungen der verschiedenen Autoren immer wieder erscheint. Das Abflauen des dieser Hauptmassenproduktion folgenden Niederschlagsmaximums erfolgt zunächst rasch, dann langsamer. Trotz der großen Massen ist die Luft sowohl zeitlich als räumlich bald wieder von ihnen gereinigt, so daß im Winter Gramineenpollen viel seltener sedimentiert werden, als etwa Erlen- oder Föhrenpollen. Einen ganz andern Verlauf hat die entsprechende Kurve für die Gramineen der alpinen Stufe (über die Begründung vgl. L ü d i und V a r e s c h i, 1936).

*Umbelliferen*: Während schon seit Mai Umbelliferenpollen in geringen Mengen sedimentiert wurden, erfolgt nun als letzter unterscheidbarer Blühaspekt der Vegetationsperiode das Massenblühen der Umbelliferen (*Heracleum sphondylium*, *Daucus carota*, *Pastinaca sativa* usw.), das sich im Pollenniederschlag deutlich auswirkt.

Bei pollenanalytischen Arbeiten mit waldgeschichtlicher Problemstellung pflegt man die Pollenmengen nur relativ anzugeben. Auch in unseren Diagrammen kehrt diese Darstellungsweise neben der Angabe der absoluten Zahlenwerte wieder. Es ist deshalb wichtig, sich eine Vorstellung davon zu machen, wie der Pollenniederschlag im Laufe des Jahres sich im prozentuellen Bild bei gleichzeitiger Überschneidung der Pollenvorkommen ändert. Abb. 9 gibt einen solchen approximativen Entwurf für die Anteile von

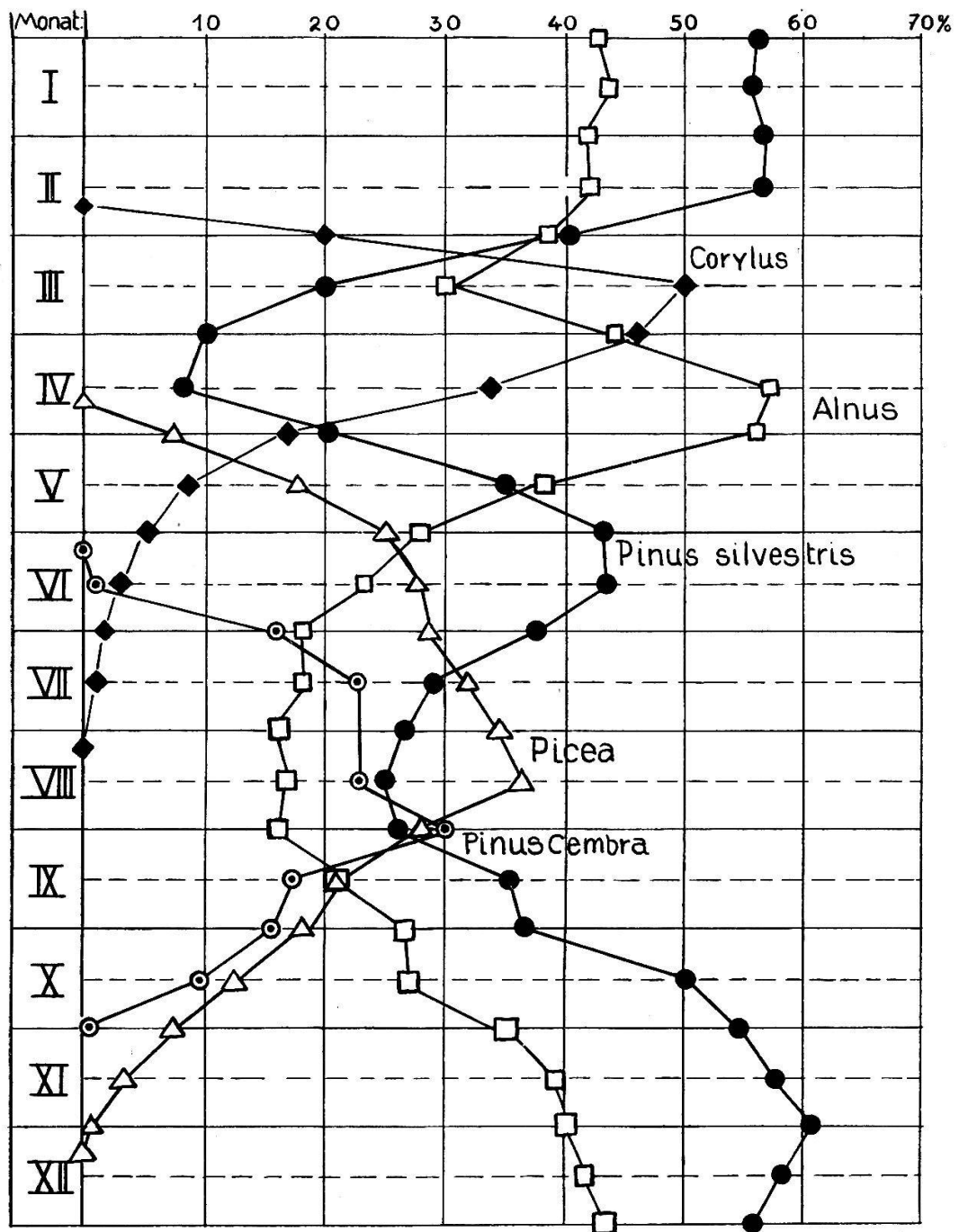


Abb. 9. Prozentualer Anteil der fünf wichtigsten Holzarten am Pollenniederschlag während eines Jahres. (Signaturen in Anlehnung an die waldgeschichtlichen Diagramme).

Pinus silvestris, Picea, Alnus, Corylus und Pinus cembra wieder. Im Winter beherrschen Pinus silvestris und Alnus in wenigen Restpollen das Bild. Mit dem Aufblühen der Hasel verschwinden diese fast ganz, drängen aber mit Beginn ihrer eigenen Blütezeit die Hasel wieder zurück. So folgen nacheinander Corylus-, Alnus-

und *Pinus silvestris*-Maximum. Das letztere wird durch den Zustrom aus den aufblühenden Fichten und später Zirben rasch wieder herabgedrückt, die Pinuspollenprozentage nehmen aber im Lauf des Herbstes, je mehr die an Menge viel kleineren Pollenmassen der übrigen Arten abnehmen, wieder zu, während die absolute Zahl der sedimentierten Pollen immer mehr abnimmt.

In den vorläufigen Veröffentlichungen habe ich nur wenige «Pollenjahreszeiten» unterschieden. Das nunmehr vorliegende Material gestattet jedoch genauere Angaben. Während bisher nur Herbst-Winter, Vorfrühling, Frühling, Vorsommer, Sommer und Spätsommer unterschieden wurde, sollen hier, wo es möglich ist, die Aspektphasen durch die betreffenden Monatsnamen genauer angedeutet werden. Es muß jedoch dabei immer beachtet werden, daß es sich bei den angegebenen Zeitabschnitten nicht um Kalenderphasen, sondern um Bezeichnungen für Blühzeiten handelt. Wird also beispielsweise aus bestimmten Pollenvorkommen (z. B. *Tilia*, *Pinus cembra*) auf «Sommer» oder «Juli» geschlossen, so bedeutet das nicht, daß die Sedimentation der Pollen im Kalendersommer oder im Monat Juli stattfand, sondern nur, daß sie aus der Blühzeit, die in normalen Jahren in den Monat Juli zu fallen pflegt, stammen. Ist dieser Blühzeit-Juli auch einige Wochen später oder früher, das schadet für unsere Zwecke nichts, denn dann verschiebt sich ja auch der nächstfrühere Aspekt (*Picea*, *Pinus*) und der nächste (*Umbelliferen*) um annähernd denselben Betrag. Die relative Lage der Blühzeiten im Jahresablauf bleibt konstant, und auf sie kommt es uns an, wenn wir Eisstücke auf ihren Pollengehalt prüfen.

## **7. Anwendung der Pollenanalyse in der Glaziologie.**

Die Erfahrungen der Pollenanalyse von Torfen dürfen nicht ohne weiteres auf die Eisanalyse angewandt werden. Schon bei der Probenentnahme muß die übliche Arbeitsweise aufgegeben werden. Man benützt keinen Bohrer, sondern die zahlreichen Aufschlüsse der Gletscher. Neben Proben von der Eisoberfläche kommen solche von Spaltenwänden (Abb. 10), Staffelbrüchen (Abb. 11), Randklüften aus zugänglichen Teilen der Gletschersohle und schließlich aus eigens gegrabenen Schächten zur Verarbeitung.

Bei der Probenentnahme wird zunächst der betreffende Punkt der Gletscheroberfläche genau topographisch fixiert. Dann werden alle in der Nähe des zu untersuchenden Punktes entwickelten Gletschertexturen notiert und schließlich das oberflächliche Eis

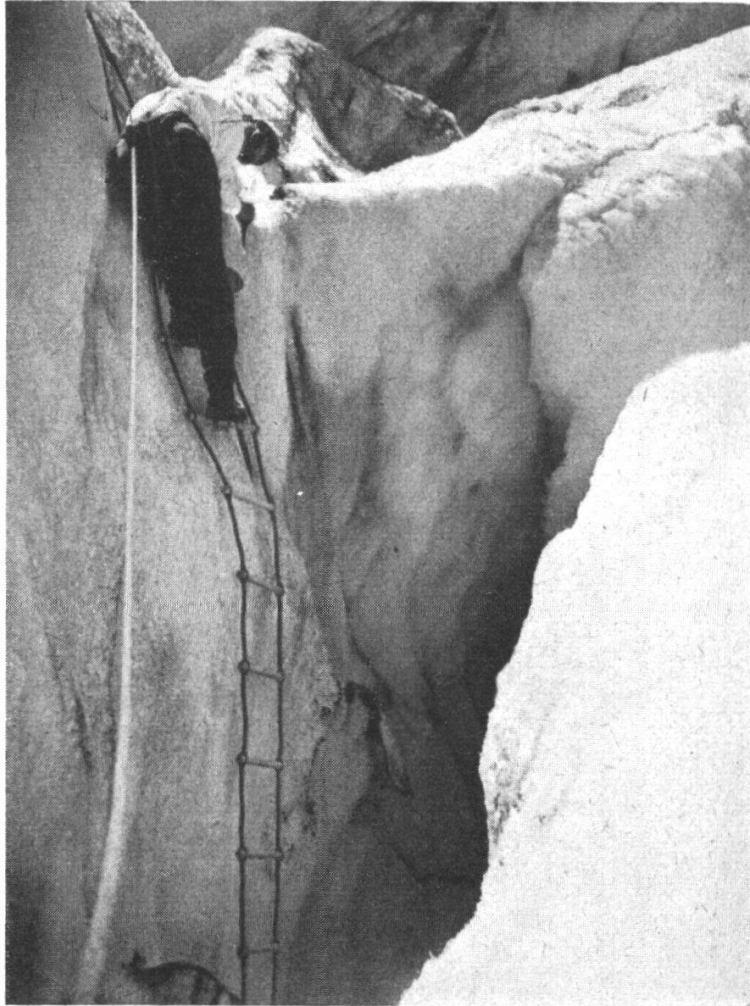


Abb. 10. Probenentnahme aus einer Spalte. Mittels Strickleitern kann man oft sehr tief in den Gletscher eindringen. Statt mit dem Pickel wird in engen Spalten das Eis mit dem Messer losgehauen.

Gepatschgletscher, Zungengebiet, 2150 m.

bis auf eine Tiefe von 10—20 cm abgetragen. Wie an Hand einiger methodischer Prüfungen festgestellt wurde, dringen Blütenpollen durch das Haarspaltennetz nicht in die tieferen Schichten des Gletschers ein. Es gibt jedoch Fälle, wo durch starke Bestrahlung der Gletscherkornverband brüchig gelockert ist, dann können Pollen ziemlich tief eindringen. Dieser an sich seltene



Fall ist aber bei sorgfältiger Prüfung zu erkennen und derartiges Eis wird dann nicht zur Bearbeitung verwendet.

Jede entnommene Probe soll nur Eis von durch und durch gleicher Beschaffenheit enthalten. Es muß deshalb darauf geach-

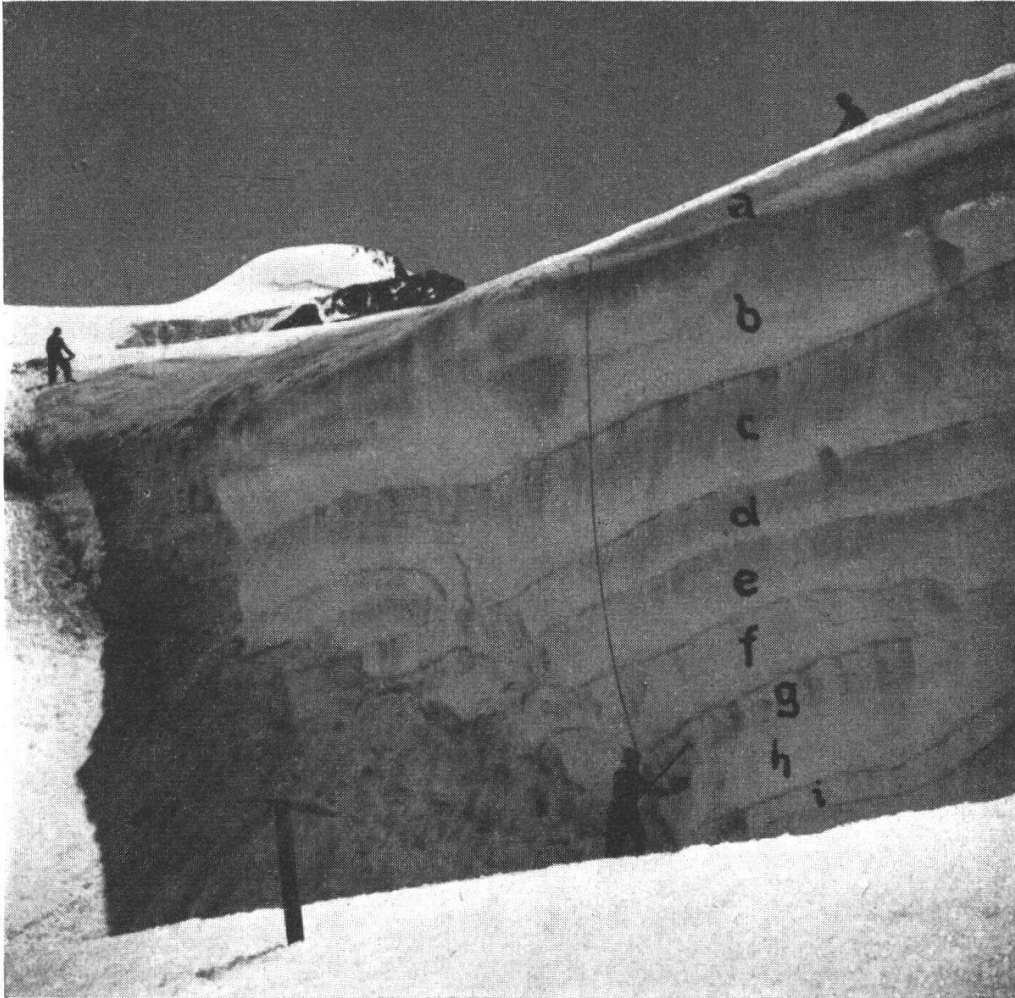


Abb. 11. Staffelbruch im Firnfeld des Gepatschgletschers (3080 m) mit Angabe der Stellen, von denen Eisproben entnommen wurden. Diese Proben (a—i) ergaben Aspekte aus 6 Jahren, deren Firnzuwachs damit ermittelt war.

tet werden, daß keine Änderung der Farbe und vor allem keine Änderung der Kornstruktur innerhalb der Probe auftritt. Nur dann besteht die Wahrscheinlichkeit, daß alle Teile der Probe gleich alt sind, d. h. aus derselben Witterungsperiode stammen. Ungleichmäßigkeiten in der Verteilung der Verunreinigungen, Abstufung in der Bänderung, andersfarbige Einschlüsse sind zu vermeiden. Aber mit all diesen Vorsichtsmaßnahmen kann nicht mehr erreicht werden, als die Wahrscheinlichkeit, daß die Probe

wirklich in allen ihren Teilen gleichzeitig entstanden und gleichmäßig verändert worden ist. Die Sicherheit über die Homogenität gibt erst die Pollenanalyse. Da stellt sich dann manche scheinbar reine Probe als Mischeis heraus: statt der Pollen einer bestimmten Jahreszeit findet sich ein Zufallsgemisch.

Bei jeder Probenentnahme wird notiert:

Ort, Beschreibung der Umgebung der Probe, Schichthöhe, Beimischungen, Farbe, Korngröße. Die Eisstücke werden in Weithalsflaschen gefüllt. Es werden für jede Probe mindestens 2 dm<sup>3</sup> Eis (im Mittel etwa 4 dm<sup>3</sup>, niemals mehr als 10 dm<sup>3</sup>) entnommen. Die Form der ausgehackten Grube richtet sich nach der Gletschertextur. Bei schmalbänderiger Struktur folgt sie dieser, bei homogenem Eis wird ein mehr kubisches Eisstück entnommen. In den Flaschen, die einen guten Patentverschluß haben müssen, können nun die Proben bis zum nächsten Standquartier getragen werden. Dort werden sie auf dem Primuskocher geschmolzen. Dabei muß jedes Gefäß, das verwendet wird, peinlich sauber gehalten sein. Neben absolut pollenfreiem Quellwasser kann auch das eigene Schmelzwasser eines Teils der Probe zuvor als Putzwasser verwendet werden. Nun wird das Schmelzwasser in einer großen Handzentrifuge von ca. 1/2 l Fassungsraum zentrifugiert. Bei 2500 Umdrehungen pro Minute genügt es, wenn die Zentrifuge eine Minute lang läuft. Der Bodensatz wird dann in kleine Fläschchen oder in Stoffbehälter gefüllt und so kann man dann den Staubinhalt von vielen hundert Litern Eiswasser bequem im Rucksack zu Tal tragen. Falls im Laboratorium nicht bald an die weitere Verarbeitung der Proben geschritten werden kann, muß man durch ein paar Tropfen eines Konservierungsmittels einer Verpilzung vorbeugen.

In Ermangelung einer Zentrifuge können die Proben auch bis auf wenige Kubikzentimeter eingedampft werden. Das schadet den Pollen nichts, ist aber sehr zeitraubend und unrationell. Anlässlich der *Lauge Koch-Expedition* nach Grönland wurden durch den Geologen der Expedition, Herrn Dr. E. St a u b e r aus dem King-Oskar-Fjord Proben entnommen. Dabei wurde, da eine Zentrifuge nicht zur Hand war und für das stundenlange Abdampfen die Zeit fehlte, folgendes Verfahren angewandt: Die Proben wurden gleich nach dem Schmelzen durch einen aschefreien Filter (Bender u. Hobein, Rundfilter SS 589, 7 cm Durchmesser) gegossen, der Filter samt Rückstand getrocknet und in verschlossenem Fläschchen aufbewahrt. Diese Methode eignet sich auch für die Alpen, die Bearbeitung im Laboratorium wird dadurch jedoch wesentlich umständlicher, weil zweimal mit aller Sorgfalt azetolysiert (siehe S. 43) werden muß, um die Zellulose der Filter aufzulösen, ohne die Zellulose der Pollenexine (Pollinin) zu zerstören.

Im Laboratorium stellt man nun fest, wieviel und welcher Art der Staubgehalt der Probe ist. Proben mit viel Kalziumkarbonat erhalten folgende Vorbehandlung: Kochen mit 10 %iger Salzsäure (3 Minuten), Zentrifugieren, Aufschütteln mit Wasser (dest.), Zentrifugieren. Proben mit sehr viel Silikaten werden im Platintiegel unter Zusatz von 1/2 bis 1 cm<sup>3</sup> Flußsäure (40 %ig) und einigen Tropfen konzentrierter Salzsäure 1—2 Minuten vorsichtig gekocht. Dann wird zentrifugiert, in 80 %iger Salzsäure aufgeköcht und wieder zentrifugiert. Die Salzsäurebehandlung und das nachfolgende Zentrifugieren ist so lange zu wiederholen, bis die Probe nicht mehr schleimig aussieht. Zuletzt wird sie noch mit Wasser zentrifugiert und dann entweder der nachfolgenden Behandlung unterzogen oder auch nach Zusatz von etwas Glycerin gleich untersucht.

Proben, die nicht durch ein Übermaß von anorganischen Staubmassen



verschlammt sind, werden direkt der Azetolyse (ungefähr nach der Erdtmanschen Methode 1936) unterzogen. Die Probe wird im Trockenschrank bei  $110^{\circ}$  getrocknet und mit einer Mischung (frisch hergestellt) von 9 Volumteilen Essigsäureanhydrid und 1 Volumteil konzentrierter Schwefelsäure versetzt. Man verwendet am besten Zentrifugierröhrchen von  $10\text{ cm}^3$  Inhalt, so daß auf die nur Bruchteile eines Kubikzentimeters ausfüllenden Staubreite fast  $10\text{ cm}^3$  der Mischung geschüttet werden. Dann kommen — man macht am besten 8 Proben gleichzeitig — die gefüllten und nummerierten Röhrchen in ein Wasserbad, wo sie von etwa  $60^{\circ}$  auf  $96^{\circ}$  erhitzt werden. Es kommt also das Wasser nicht zum Kochen, sondern nur nahe an den Siedepunkt heran. Während der Erhitzung der Proben werden sie ein- bis zweimal umgerührt. Ich verwende dazu Platin- oder Kupferdraht, der nach jedesmaligem Gebrauch vor Eintauchen in eine andere Probe ausgeglüht wird. Überhaupt müssen wir bei unseren Gletscherproben wesentlich vorsichtiger wegen Verunreinigungen sein, als man dies bei Torfproben nötig hat. Während bei Torfproben nur prozentuelle Zahlen verwendet werden, die durch einige zufällig hinzugekommene Pollen oft gar nicht verändert werden, ist für uns oft gerade die Feststellung absoluter Pollenfreiheit in einer Probe wesentlich, diese aber ist nur bei vollkommen «pollensterilem» Vorgehen feststellbar. Nun werden die Zentrifugierröhrchen außen getrocknet und in die Zentrifuge gesetzt. Bei 3000 Umdrehungen genügt eine halbe Minute. Nach dem Zentrifugieren gießt man die Flüssigkeit ab, füllt  $10\text{ cm}^3$  Wasser nach, schüttelt kräftig, entfernt den eventuell dabei entstehenden Schaum mit einigen Tropfen Azeton und zentrifugiert von neuem. Dann wird das Röhrchen mit  $5\text{ cm}^3$  einer Mischung von Glycerin und Wasser (1:1) gefüllt und von neuem zentrifugiert. Beim Ausschütten der Flüssigkeit läßt man dann etwa ebensoviel Flüssigkeit über dem Rückstand stehen, als dieser selbst Raum einnimmt. Dann wird stark geschüttelt, so daß der Rückstand sich von der Wand abgelöst hat und als dichte Suspension im Glycerin-Wassergemisch aufgeschlemmt erscheint, und schließlich füllt man die Suspension in einen Stoffbehälter, in dem dann die Probe jahrelang bis zur Untersuchung haltbar bleibt.

Werden die oben erwähnten Filter mit verarbeitet, so muß zweimal azetolysiert werden. Ein Vorgang, bei dem sich alle Filterreste auflösen und der doch den Pollen, wie durch Versuche festgestellt wurde, keinerlei Schaden zufügt.

Nun kann erst zur eigentlichen Pollenanalyse geschritten werden. Mit einer feinen Meßpipette wird jeder Tropfen, der untersucht werden soll, in Kubikmillimetern gemessen. Die Anzahl der waagrechten Zeilen, die bei einer bestimmten Vergrößerung und Deckgläschengröße abgesucht werden kann, wird festgestellt. Es waren bei Okular 4 und Objektiv 6 (Zeiß) und einer Deckglashöhe von 24 mm 40 Zeilen. Es wird nun jede dritte Zeile ausgezählt, zwei Zeilen dazwischen bleiben unbearbeitet, damit nicht bei kleinen Bewegungen unter dem Deckglas Pollen zweimal gezählt werden können. Bei der Berechnung kann dann der untersuchte Teil der Probe auf die ganze in der Pipette gemessene Flüssigkeitsmenge und aus mehreren solchen Zählungen schließlich auf das Gesamtvolumen der Probe bezogen werden. Man erhält schließlich, da ja auch die Menge des bei der Schmelzung gewonnenen Eiswassers notiert wurde, den absoluten Pollengehalt für 1 l Eiswasser, und damit auch mit genügender Genauigkeit für  $1\text{ dm}^3$  Eis.

In einigen Zeilen wird nun der gesamte Staub gezählt, um einen Einblick in die in ihm überhaupt feststellbaren Partikel zu erhalten. Faser-, Blatt- und sonstige Zellen, Holzzellen, Rindenzellen, Algen, Chitintteile von Insekten und alle irgendwie deutbaren Gewebefetzen werden gezählt und die Mengen an organischem und anorganischem Detritus in großen Umrissen geschätzt. Dann werden beim übrigen Präparat nur mehr die Pollen und Farnsporen notiert. Dabei werden folgende Pollensorten unterschied-

den: *Abies alba*, *Picea excelsa*, *Pinus cf. silvestris*, *Pinus cf. montana*, *Pinus cf. cembra*, *Fagus silvatica*, *Fraxinus*, *Acer*, *Carpinus*, *Betulus*, *Quercus*, *Hippophaë*, *Castanea sativa*, *Alnus*, *Betula*, *Corylus*, *Salix*, *Ulmus* und *Tilia*. Dann von Nüthholzarten: Gramineen, Cyperaceen, Liliaceen, Charyophyllaceen, *Epilobium*, Umbelliferen, Ericacee (unter ihnen *Calluna cf.*, *Erica carnea cf.*, *Rhododendron cf.*, übrige Ericaceen *cf.*), Rubiaceentyp, Campanulaceentyp, Compositen, übrige Pollen (hier alle übrigen als Pollen erkennbaren Zellen mit Ausnahme der Lärchenpollen, die ganz außer Betracht fallen, da sie meist nicht mehr erhalten und oft kaum mehr erkenntlich sind). Von Sporen werden Polypodiaceensporen mit Angabe, ob die Exine erhalten ist oder nicht und Lycopodiumsporen gezählt, und die fast stets sehr zahlreichen Moos-, Pilz- und Flechtensporen werden größenordnungsmäßig geschätzt.

Als Beispiel einer Staubanalse, die außer den Pollen auch die übrigen Einschlüsse berücksichtigt und daher einen Einblick in die im Gletschereis auftretenden «Mikrosuffossilien» gibt, seien hier zu der in Tabelle II (S. 126) angegebenen Pollenmenge der Probe Nr. 39 die Analysenresultate angezeigt. Bezogen auf 1 dm<sup>3</sup> Eis waren enthalten:

Baumpollen	245
Gramineenpollen	18
Übrige Pollen	13
Farnsporen (Polypod.-typ)	4
Moossporen (und morphologisch ähnliche Sporen)	55
Pilz- und Flechtensporen	14
Hyphen	11
Tracheen	2
Tracheiden	126
Holzfaserzellen	178
Holzgewebeteile	14
Reste von Algenzellen	2
Tierische Zysten	23
Andere tierische Reste (Chitin usw.)	19
Diatomeen	5
Nicht verholzte Gewebeteile	5
Pflanzenhaare	2
Organische Reste, unkenntlich,	ca. 200

Über die Unterscheidung der schwer zu trennenden verschiedenen *Pinus*-arten hat H ö r m a n n (1929) gearbeitet. Neben den dort angegebenen Merkmalen benützte ich auch oft noch die Farbe der Pollen als Hinweis. *Pinus cembra* war bei einfacher Azetolysebehandlung fast stets noch braun, während *Pinus silvestris* und *montana* bereits ausgebleicht waren. Zur Bestimmung nach anatomischen Merkmalen kam stets noch die durch die Größenmessungen, die variationsstatistisch ausgewertet wurden. Es ist dabei zu beachten, daß die Kurven der drei Arten alle etwas höher liegen als bei H ö r m a n n, da durch die E r d t m a n - Behandlung der Pollen etwas größer wird als bei der von H ö r m a n n angewandten Behandlung. Für die Unterscheidung der Ericaceenpollen benützte ich zum Teil die von O v e r b e c k (1934) angegebenen Merkmale, zum Teil (für *Erica carnea*, *Rhododendron*) waren eigene Voruntersuchungen, über die an anderer Stelle noch berichtet werden soll, nötig.

Die Resultate der Analyse werden nun in sogenannten Eispollendiagrammen dargestellt. Bei Oberflächenproben zeigt das Diagramm eine Art Karte eines Teiles der Gletscheroberfläche in der möglichst genau alle erkennbaren Texturen usw. eingetragen sind, bei senkrechten Profilen gibt die Textureigentümlichkeiten

ein Profilband wieder. Das Profilband (vgl. Abb. 20, S. 59) trägt links eine Meterskala, aus der die absoluten Größenverhältnisse, insbesondere die Schichthöhen, zu entnehmen sind. Die einzelnen, mit bloßem Auge trennbaren Schichten sind durch kleine Buchstaben bezeichnet, und je nach dem Eismaterial, aus dem sie bestehen, im Profilband graphisch unterschieden. Korngröße, inhomogene Zonen, Verunreinigungen usw. sind dargestellt. Ort und Form der Probe, die entnommen wurde, ist als schwarzer Fleck in das Profilband jeweils eingezeichnet. Dann folgen die Nummern der Proben und schließlich die Darstellung des pollenanalytischen Befunds. Durch einen stark ausgezogenen Kreis wird eine Fläche umschrieben, die proportional der gefundenen Baumpollenmenge (Zahl der Baumpollen in  $\text{dm}^3$  Eis) ist. Als Vergleichsmaß dient die im Profil rechts unten eingezeichnete Kreisfläche, die genau 100 Pollen entspricht. Daneben ist die absolute Pollenmenge auch noch durch die betreffende Zahl zugefügt. Die relativen Zahlen der einzelnen Holzarten müssen neben diesen absoluten Werten ebenfalls vom Diagramm ablesbar sein. Der fein umrandete, mit den Signaturen ausgefüllte Kreis gibt diesen prozentualen Anteil der Holzarten an der Zusammensetzung des Spektrums. Die Signaturen sind so gewählt, daß frühblühende Holzarten hellere Flächensignaturen erhalten als spätblühende. Dadurch ist oft der jahreszeitliche Charakter schon beim ersten Überblick ablesbar. Daneben stehen noch Anmerkungen über Nichtbaumpollen (in absoluten Mengenangaben) und schließlich ein Urteil über die Jahreszeit, auf die das Aspektbild hindeutet. Durch ausgezogene Pfeile werden pollenanalytisch sichergestellte Jahresgrenzen, durch strichlierte Pfeile unsichere Jahresgrenzen eingetragen. Bei abgekürzter Darstellung werden oft nur die verschiedenen Jahreszeiten durch die Signatur der betreffenden Leitpollen angedeutet. Es bedeutet dann: Weiß: Herbst bis Winter. Punktierter Fläche: Frühling. Karierte Fläche: Sommer. Wiederum bedeuten (vgl. S. 39) auch diese Jahreszeiten keine Kalender-, sondern Pollenaspektzeiten.

An Hand solcher Diagramme wird ein Einblick in den Aufbau der Eismassen aus Eisteilen mit verschiedenen Pollenaspekten gewährleistet. Der Leser kann sich selbst ein Urteil darüber bilden und die Schlüsse, die auf Grund der Diagramme gezogen werden, selbst an Hand der Originaldaten überprüfen.

## II. Spezieller Teil:

### **Pollenanalytische Untersuchung des Grossen Aletschgletschers mit Ergänzungen vom Gepatschferner.**

#### **A. Der Grosse Aletschgletscher.**

##### **8. Orographie des Grossen Aletschgletschers.**

Als Objekt für die Untersuchung der Gletscherbewegung wurde der Große Aletschgletscher im Kanton Wallis (Schweiz) gewählt (vgl. Abb. 12, 13, 14 [Taf. 1]). Er ist weitaus der größte Gletscher der Alpen und erinnert an die Dimensionen großer außeralpiner Talgletscher. Andererseits stellt er nach Form von Firnfeld und Zungengebiet den allgemeinen Typus des alpinen Talgletschers dar; seine Dimensionen machen ihn also nicht zu einem Spezialfall in seinen Eigenschaften als bewegte, orographisch bedingte Masse. In der wahrhaft großartigen Umrahmung höchster Alpengipfel vom Aletschhorn (4182 m) über Mittaghorn (3895 m), Jungfrau (4166 m), Mönch (4104 m) bis zu den Grindelwalder Fiescherhörnern (4049 m), weiter zum Grünhorn (4047 m) und zu den Walliser Fiescherhörnern (3905 m) liegt das Firngebiet des Großen Aletsch eingebettet. Nur 29 % des Einzugsgebietes des Aletsch sind unvergletschert. Das Firngebiet selbst zerfällt in drei große und mehrere kleinere Firnbecken: Großer Aletschfirn, Jungfraufirn und Ewig Schneefeld (siehe auch später). Grünhorngletscher und Mittelaletschfirn geben weiteren Zustrom. Die kleinen, steilen Hängegletscher der Dreieckshörner im Westen, der Walliser Fiescherhörner im Osten der Aletschzunge kommen als Eislieferanten für den Hauptstrom kaum mehr in Betracht; sie sind entweder nur von geringer Mächtigkeit bei der Vereinigung oder sie erreichen den Aletsch überhaupt nicht mehr als geschlossener Strom, sondern nur als gelegentliche Eislawinen.

Einige Angaben über den Aletschgletscher selbst sollen das Kartenbild ergänzen. (In Klammer sind die entsprechenden Werte des größten Ostalpengletschers, der Pasterze, vergleichsweise angeführt.)

Exposition S (E), Flächeninhalt 115,1 km<sup>2</sup> (32 km<sup>2</sup>), größte Länge 26,8 km (10,4 km), Neigung des Firngebietes 20° (21°),



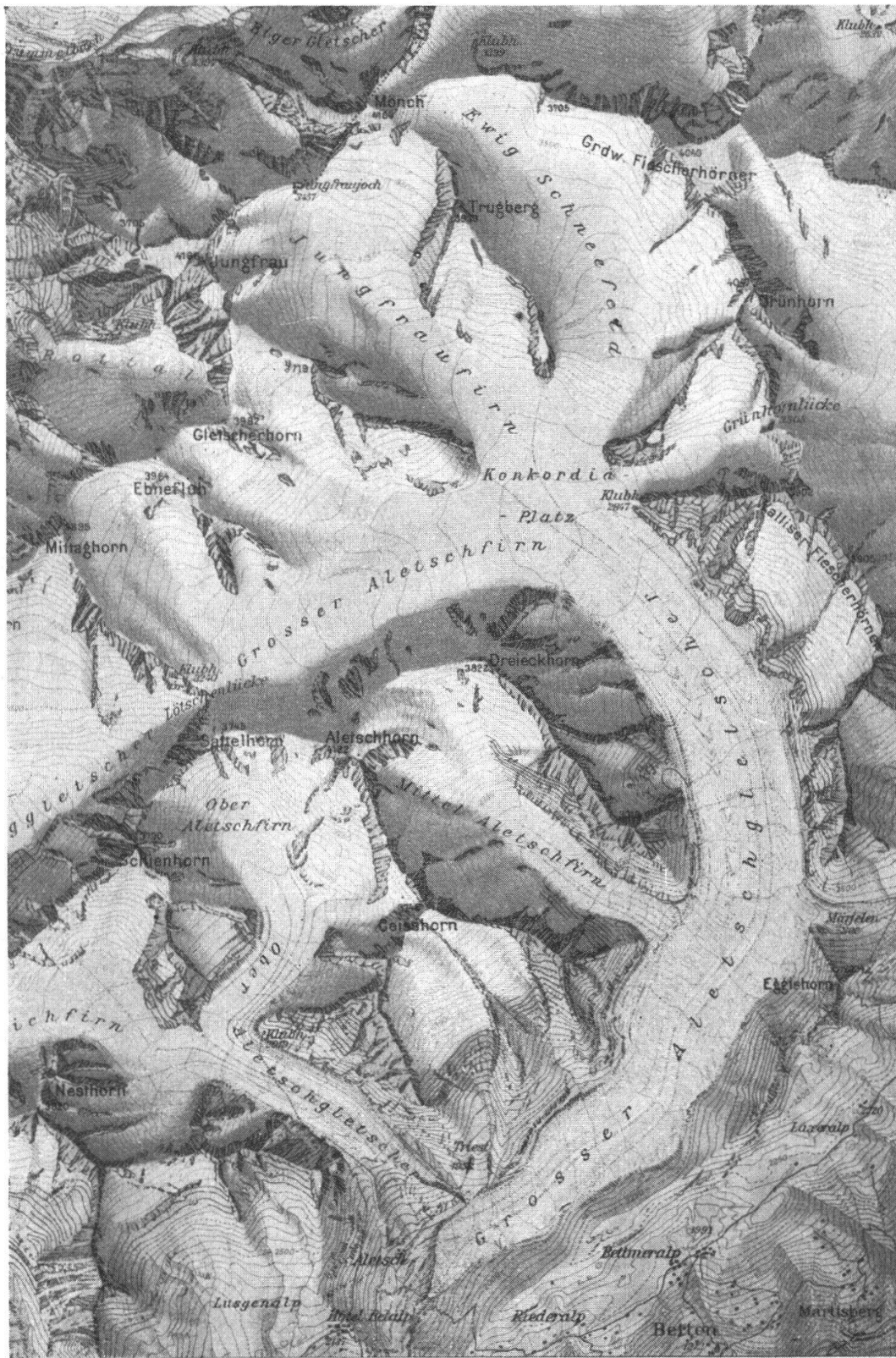


Abb. 12. Übersichtskarte des Grossen Aletschglatschers (1 : 137 000).

Neigung der Zunge  $7^{\circ}$  ( $13^{\circ}$ ), Gletscherende bei 1360 m (1950 m), Firngrenze 2880 m (2650 m), Verhältnis von Firnfläche zur Zungenfläche wie 2,1 : 1 (2,6 : 1), Zungenlänge 18,5 km (5 km), jährliche Geschwindigkeit in Metern 180 m (51 m).

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß der Aletschgletscher durch die große Flächenausdehnung, durch die große Länge, die besonders schwache Neigung der Zunge, durch die weit ins Tal herabreichende Zunge — (nur 26 der rund 2000 Gletscher der Alpen reichen mehr als 1000 m unter die Schneegrenze herab, 18 davon so weit oder weiter als der Aletsch), vor der Pasterze und — darf man hinzufügen — auch vor dem Durchschnittstypus des alpinen Talgletschers ausgezeichnet ist. Wie bereits erwähnt, handelt es sich dabei mehr um quantitative, als wirksame qualitative Unterschiede.

Da es nicht möglich war, den ganzen Gletscher gleichmäßig zu bearbeiten, wurde ein Ausschnitt genauer untersucht und in einem eigenen Kartenausschnitt gesondert dargestellt.

Abb. 13 gibt diesen Abschnitt im Maßstab 1 : 30 000 als vergrößerte Skizze nach dem Blatt 489 und 493 des Siegfriedatlases wieder. Um die Orientierung in diesem Teil des Gletschers zu ermöglichen, wurden zahlreiche Namen, die auf der Karte fehlten, eingetragen. Dabei sind die Teilgletscher nach den Firnfeldteilen bezeichnet, denen sie entsprechen, die Moränen nach den Felszonen, deren Schutt sie transportieren. So ist beispielsweise der Jungfrauteil der Zunge jenes Gebiet, das dem Jungfraufirnbecken entspricht. Es ist begrenzt im Westen durch die Kranzberg-, im Osten durch die Trugbergmoräne. Schließlich sind hier auch die Hauptlager des Jahres 1934 eingetragen. Die Quadrate entsprechen je einem Quadratkilometer.

## **9. Glaziologische Erforschung des Grossen Aletsch.**

In der glaziologischen Literatur spielt der Aletsch keine so große Rolle, wie etwa der Rhonegletscher, der Vernagtferner, der Hintereisferner oder der Claridenfirn. Er war für die Gletscherforschung trotz seiner überragenden Größe eben doch nur einer unter den vielen. Die Arbeiten von Tyndall (1857) und Grad (1869) beschränken sich nur auf vereinzelte Messungen des Gletscherstandes und der Gletscherbewegung. Davon inter-

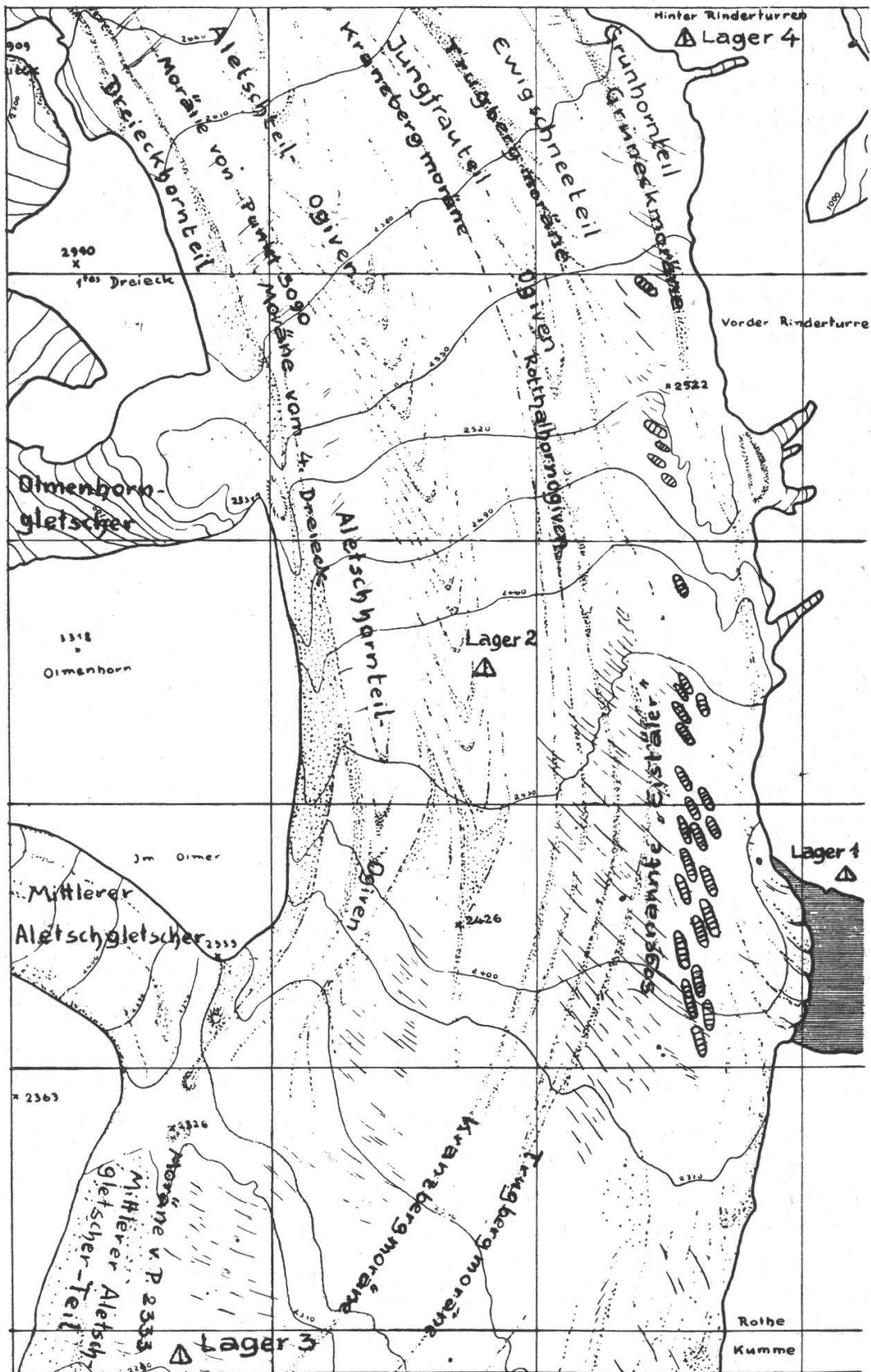


Abb. 13. Karte des mittleren Teiles der Gletscherzunge des Großen Aletsch mit Bezeichnung der Teilströme und Moränen (1 : 30 000).

essiert uns vor allem das Resultat der Messungen von Grad und Dupré, welche für die Zeit vom 18. August bis 1. September 1869 folgende tägliche Geschwindigkeiten in verschiedener Meereshöhe erhielten:

Entfernung vom Gletscherrande in m	Seehöhe in m	Breite des Gletschers in m	Geschwindigkeit in der Gletscherachse m/Tag
15 000	2600	1800	0,505
8 000	2150	1500	0,392
2 000	1850	800	0,258

Die beiden Forscher konnten also an der schwach geneigten Zunge des Großen Aletsch eine Abnahme der Geschwindigkeit gegen das Gletscherende hin feststellen.

Durch Messungen von Billwiler und Lutschg wurde ein Überblick über die Verhältnisse von Niederschlag und Abfluß im Aletschgebiet möglich. Eine Skizze der Niederschlagsverhältnisse (entnommen aus Lutschg, 1931) gibt Abb. 15. Es zeigt sich, daß der Niederschlag in deutlicher Beziehung zur Reliefgestaltung steht. «Weitاًus die meisten Niederschläge — nahe gegen 100 % — fallen in diesen hohen atmosphärischen Regionen über 3000 m als Schnee. In den Jahren 1925 bis 1930 zeigen alle Jahre nur ein bis zwei Tage mit flüssigem Niederschlag. Die Gesamtzahl der Niederschlagstage beläuft sich auf 160—170.»

«Seit 1918 wurden in der Firnmulde südöstlich des Jungfraujochs, in einer Höhenlage von rund 3330 m, auf Veranlassung der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft in Zürich (vgl. Billwiler, 1922) durch die Organe der Jungfraubahn an Firnmeßstangen Beobachtungen ausgeführt zur annäherungsweise Bestimmung von Firnzuwachs und Abschmelzung, zur Klarstellung des Verlaufes der Höhenlage der Firnoberfläche.

«Über die bisherigen Ergebnisse gibt das Diagramm (hier als Abb. 16 wiedergegeben) einen näheren Einblick. Zum besseren Verständnis des Verlaufs der Firnoberfläche sind dem Diagramm die Temperaturwerte der meteorologischen Station auf dem Großen St. Bernhard (2475 m) und die Niederschlagshöhen der Station Furka (2406 m) ... beigegeben worden. Daß sich der Einfluß der einzelnen meteorologischen Elemente nur in verschleier-



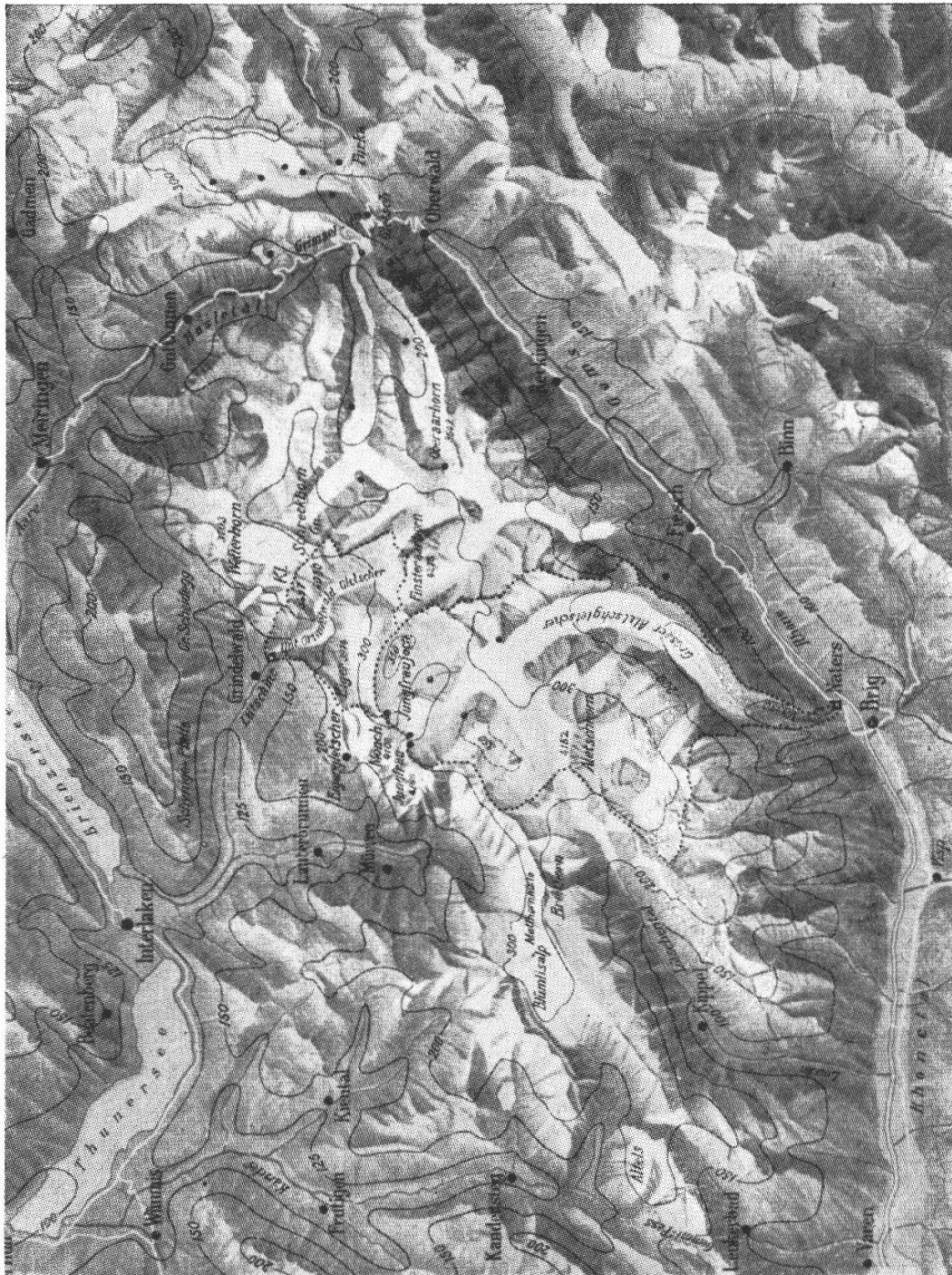


Abb. 15. Niederschlagskarte des Gebietes der Finsteraarhorngruppe und deren Umgebung  
1 : 500 000. . . . = Grenzlinien der Massa- und Lütchingergebiete; ● = Niederschlagsstationen;  
□ = Abflußstationen.



pro Sekunde an Abfluß gespendet wird und daß der größte Anteil an der jährlichen Wassermenge, den Wärmeverhältnissen entsprechend, bald auf den Juli, bald auf den August fällt. Die Schwankungen des Abflusses sind im Winter klein, im Sommer von der Zeit der Schneeschmelze (Beginn im Mai) an größer. Die größte Schneeschmelze fällt in den Juni. Gleichzeitig setzt dann die Gletscherschmelze ein, die ihrerseits das Maximum im Juli erreicht, weil die «hohe Lufttemperatur und die unmittelbare Sonnen- und die diffuse Himmelstrahlung, der langen Tage wegen, nun am kräftigsten und anhaltendsten wirken.» Im Oktober hört die Gletscherschmelze fast ganz auf. Der entscheidende Faktor

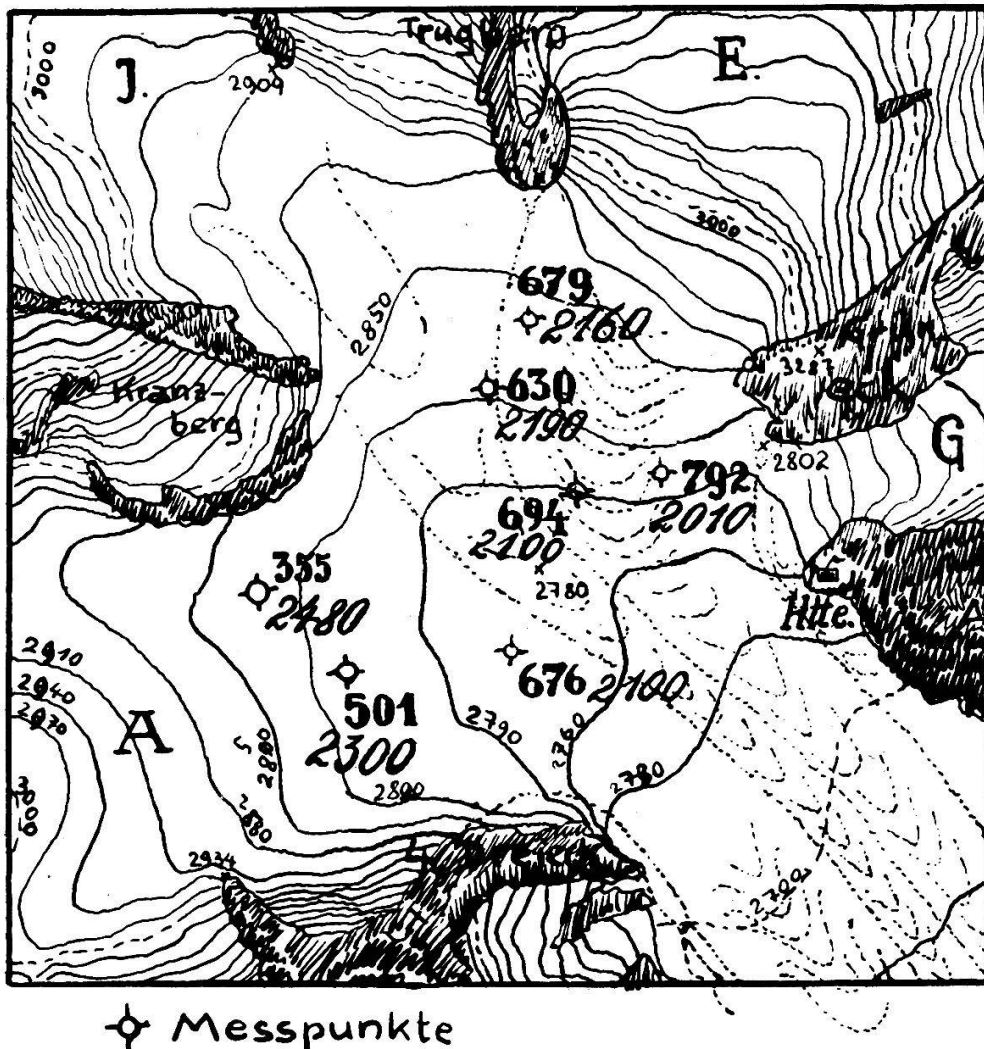


Abb. 17. Konkordiaplatz mit den wichtigsten von Mothes ermittelten Eistiefen. Fettgedruckt: Mächtigkeit des Eises, dünner gedruckt, kursiv: Meereshöhe des Gletscheruntergrundes. (Nach den Zahlen und den Karten der Originalmitteilung). A = Aletschfirn, J = Jungfraufirn, E = Ewigschneefirn, G = Grünhorngletscher, Htte = Konkordiahütte.

für die Abflußverhältnisse ist die Temperatur, deren Wirkung durch Bewölkung, Niederschläge, Wind usw. nur in gewissen Grenzen abgeändert wird. Auch das Relief, die Gebirgsumrahmung und das Gefälle sind von entscheidender Bedeutung.

Neuerdings ist der Aletschgletscher nochmals zum Schauplatz einer in der Glaziologie epochemachenden Messung geworden. *M o t h e s* hat am Konkordiaplatz durch Sprengungen seismische Wellen künstlich ausgelöst und in bestimmten Entfernungen mit einem Vertikalseismographen optisch registriert. In vielen Fällen konnten Reflexionen der Erschütterungswellen an der unteren Grenze des Eises registriert werden, die zur Dickenbestimmung des Eises dienten. Die Resultate dieser Messungen sind für uns von größter Wichtigkeit.

In Abb. 17 ist der Konkordiaplatz dargestellt und es sind die wichtigsten von *M o t h e s* festgestellten Eistiefen in fettgedruckten Zahlen, die zugehörigen absoluten Tiefen (Meereshöhe des Gletscheruntergrundes) in Kursivzahlen beigelegt. A bedeutet den Aletschzustrom, J den Jungfraufirn, E den Ewigschneefirn und G den Grünhornletscher.

Für die einzelnen Teilströme ergibt sich aus den Tiefenquoten ein ungefährender Anhaltspunkt zur Feststellung eines Querschnitts durch die dem Konkordiaplatz zufließenden Eismassen. Alle gemessenen Eistiefen sind für europäische Verhältnisse auffallend groß. Das linke Ufer des Aletschstroms fällt vom Kranzberg aus zunächst steil auf 355 m Tiefe, dann flacher bis auf 501 m in seiner Mitte. Von dieser Quote gegen den Konkordiaplatz fällt der Grund des Gletscherbettes weiter bis auf 676 m. Ogiven treten dabei auf der Gletscheroberfläche nicht auf. *M o t h e s* faßt die Quoten 630 und 679 als Tiefenlotungen für den Jungfraufirn auf. Benützt man zur Orientierung über die Teilströme die Trugbergmoräne, so fallen diese und die dazwischenliegenden (hier nicht eingetragenen) Quoten auf das Grenzgebiet der beiden Teilströme Jungfraufirn—Ewigschneefirn und wie die Quoten 694 und 792 zur Gänze auf den Ewigschneefeldstrom. Ich fasse also diese vier Quoten als zum Untergrund des Ewigschneefeldstroms gehörig auf, während *M o t h e s* offenbar an eine außerordentlich starke Vertiefung der Jungfraufirnrinne denkt: Die Tiefenwerte 630 bis 679 liegen nach *M o t h e s* alle noch auf dem westlichen Hang der Jungfraufirntalfurche. Ich glaube, sie liegen bereits am West-



hang der Ewigschneefeldfurche, deren große Tiefe ja auch durch die Quote 792 feststeht. Diese Feststellung ist deshalb wichtig, weil sich sonst für den Querschnitt des Jungfrauteilstroms ein Bild ergäbe, das vom glaziologischen Standpunkt aus undenkbar ist. Der Jungfraufirn müßte dann in der Tiefe schief unter den Ewigschneefirn hineinragen, während die Massenverteilung der zusammenströmenden Gletscher eher erwarten ließe, daß der Jungfraufirn durch die gewaltigeren Eismassen des Ewigschneeteils nach Westen abgedrängt werde, was ja auch der Verlauf der Trugbergmoräne andeutet.

Auf diese kleine Änderung in der Auffassung der Tiefenwerte werde ich später noch zurückkommen, wie überhaupt die M o t h e s s e n Messungen für die ganze Erfassung der Eisdynamik am Aletsch von größter Wichtigkeit sein werden.

#### **10. Die Freilandarbeit am Grossen Aletsch.**

1933: Einige erste Vorversuche über die praktische Anwendbarkeit der Methode wurden am Grindelwaldgletscher gemacht. Die Analysen ergaben nach anfangs entmutigender Erfolglosigkeit zunächst einige Pollen, deren Vorkommen in keine geordnete Beziehung gebracht werden konnte. Wie sich später herausstellte, war zu wenig Eis entnommen worden und es war Eis aus dem untersten Zungengebiet analysiert worden, das nach den späteren Erfahrungen (vgl. S. 134) keine große Aussicht auf Entdeckung von Gesetzmäßigkeiten in der Lagerung bot. Trotzdem wurde für das nächste Jahr eine Exkursion auf den Aletsch geplant.

1934: Im Geobotanischen Forschungsinstitut Rübel wurde die Exkursion vorbereitet. Am 17. August waren alle nötigen Instrumente für die Probenbearbeitung und für die Ballonaufstiege (vgl. S. 30) — zusammen über 200 kg Lasten — im Schulhaus Naters bei Brig aufgestapelt. Wie schon bei früheren Arbeiten, konnte ich auch diesmal auf die Mitarbeit meiner Frau zählen, die alle Wechselfälle der wochenlangen Exkursionen, angefangen von der heißen Arbeit in den sonnenglühenden Walliser Talhängen bis zu den eisigen Beiwachten im Firngebiet mitmachte. In den ersten Tagen wurde das Gepäck nach und nach höher transportiert, zum Teil mit Hilfe von Trägern. Gleichzeitig wurden, da die Wetterlage für die Ballonaufstiege günstig war, in verschiedener Mee-

reshöhe Ballone gestartet und mit dem Theodoliten verfolgt. Dabei erfreuten wir uns einige Male der Mithilfe der Bauern; auch ein Genfer Astronom, der dort in Ferien war, Prof. Rossier, packte mehrmals mit an. Am 24. August waren diese Arbeiten vorläufig abgeschlossen und es ging über Belalp zur Aletschalp, wo wir von der Familie Schmidt einen Stadelboden als Laboratoriumsraum zur Verfügung gestellt bekamen und auf dem Heuboden «Wohnung» nahmen. Von diesem Tag an schritten die Eisarbeiten rasch vorwärts. Es wurden vor allem im Gebiet des Gletschertors, das durch eine luftige Kletterei über die Felsen der Massaschlucht erreicht wurde, Eisprofile senkrecht zur Oberfläche genommen, die Eisproben dann in Flaschen zur Alp gebracht und dort gleich verarbeitet. Gletscheraufwärts wurden vor allem Oberflächenprofile und senkrechte Profile an Spaltenwänden entnommen. Der Aktionsradius von diesem Standort aus reichte bis zur Triestalpe am rechten und bis zum Ende des Aletschwaldes am linken Ufer des Eisstroms. Anfang September wurde dann die Konkordiahütte, wo wir Vergünstigungen des S.A.C. genossen, als Standquartier gewählt. Es war jedoch nicht möglich, die große Zentrifuge bis hier herauf zu transportieren. Wir mußten also unsere Eisproben nach dem Schmelzen bis auf einen kleinen Rest eindampfen, wenn wir nicht auf die Ernte zahlreicher Proben verzichten wollten. Da dieses Eindampfen sehr viel Zeit beanspruchte, wurde die Nacht durch stets abwechselnd gewacht und gekocht. Arbeitsgebiet war jetzt vor allem der nahe Konkordiaplatz und jener Zungenteil, der dann im nächsten Jahr genauer bearbeitet wurde und in Abb. 13 dargestellt ist. Mitte September bezogen wir wieder unsere Aletschalp und entnahmen die letzten Eisproben. Die Gesamternte war eine Reihe von 120 Proben. Den Abschluß bildeten wieder beim Transport der Instrumente nach unten eine Reihe von Ballonaufstiegen und — auf dem Heimweg — einige Probenentnahmen aus der Zunge des Rhonegletschers.

1935: Die Erfahrungen des letzten Jahres hatten gezeigt, daß, wenn genügend Proben für eine genauere Bearbeitung des Aletschgletschers gesammelt werden sollten, eine bloß exkursionsmäßige Begehung nicht genügen würde. Vor allem mußte die Zentrifuge an Ort und Stelle stehen, so daß der Transport der Eisstücke zur Zentrifuge oder gar das langwierige Eindampfen entfiel. Die großzügige Unterstützung des Unternehmens durch das Geobotanische



Forschungsinstitut Rübel bzw. seiner Leiter, Prof. Dr. E. R ü b e l und Dr. W. L ü d i, ermöglichten die Ausrüstung einer größeren Expedition, an der diesmal außer meiner Frau noch mein Vater, Herr Direktor Karl V a r e s c h i, und ein junger Botaniker, Arno B a c m e i s t e r, teilnahmen. Als Unterkunft für alle vier diente ein Hauszelt, das die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft dankenswerterweise zur Verfügung stellte. Zum Transport des diesmal noch mehr angewachsenen Gepäcks mieteten wir Maultiere, die alles Nötige bis direkt an den Gletscherrand hinauftrugen. Es ging diesmal an die Ufer des Märgelsees, wo Lager 1 zum Teil im Zelt, zum Teil in einer Steinhütte der Märgelenalp aufgeschlagen wurde. Von hier aus wurden die ersten Profile entnommen und erkundet, von welchen Höhen aus etwa die Ogiven (vgl. S. 75) am besten eingesehen werden konnten. Da der aspektstratigraphische Charakter dieser Gletscherstruktur erfaßt werden sollte, war ein Überblick über die Ogivenverteilung von hohen Standorten aus nötig. Es ist eine Eigentümlichkeit, daß man diese Struktur nur aus großer Entfernung mit Sicherheit verfolgen kann, während man auf dem Gletscher selbst zu keiner Übersicht gelangen kann. Bei der Probenentnahme teilten wir uns dann in zwei Gruppen: Die einen standen auf dem erhöhten Punkt (meistens eines der Fußhörner oder einer der Hängegletscher darunter) und legten die Probenentnahmestellen fest. Die andere Gruppe war auf dem Gletscher geblieben und wurde durch Flaggensignale so lange von oben aus geführt, bis eine Probenstelle nach der andern erreicht war und jedesmal auf das betreffende Signal an genau der vorausbestimmten Stelle die Probe entnommen wurde. Dabei ergab sich, daß immer noch zuviel Zeit verlorenging, wenn das Zelt bei der Märgelenalp verblieb und wir entschlossen uns, das Zelt direkt auf dem Gletscher selbst aufzuschlagen (Lager 2, 3). Später wurde dann mit dem Vorrücken der Arbeiten auch das Zelt weitertransportiert und am linken Ufer des Aletsch auf einem winzigen grünen Rasenfleck hinter der Seitenmoräne aufgeschlagen (Lager 4). Dort richteten wir uns für längere Zeit ein und bearbeiteten von hier aus Oberflächenprofile und senkrechte Profile durch die Ogivenzonen sowie eine große Probefläche im Ogivengebiet. Es zeigte sich, daß die Ogiven etwas höher lagen als auf der Siegfriedkarte eingetragen war, so daß wir schließlich, um auch die obersten zu bearbeiten, wie-

der von der Konkordiahütte des S.A.C. aus vorgingen. Schließlich wurden durch einige Vorstöße ins Firngebiet und auf den Schönbühlgletscher noch ergänzende Proben gesammelt und im Lager verarbeitet. Auf einer der Mittelmoränen war eine «Postniederlage» improvisiert worden, wo uns die Träger des Pavillon Konkordia Proviant und Nachrichten hinterlegten, so daß wir ständig mit dem Institut Rübel in Zürich in Verbindung waren und allen nötigen Nachschub erhalten konnten. Mit besonderer Dankbarkeit gedenken wir dabei der aufmunternden Kartengröße von Professor Klebelsberg aus Innsbruck, die uns bei dem wochenlangen Ausharren auf unserem eisigen Posten — das Wetter tat sein möglichstes, das Arbeiten zu erschweren — immer wieder neu die Begeisterung für die zu lösende Aufgabe anfachten. Der Erfolg dieses Sommers waren diesmal 255 Proben, also mehr als doppelt soviel wie 1934 und vor allem genügend viel, um die nun folgenden Untersuchungen ausführen zu können.

Aus Zuschriften von verschiedenen Seiten, die sich auf meine vorläufigen Mitteilungen (1935, 1936, 1937) beriefen, habe ich entnehmen können, daß sich die Leser damals von der Arbeitsweise auf dem Gletscher selbst vielfach nicht die der Wirklichkeit entsprechenden Vorstellungen machten. Ich habe daher hier einige Bemerkungen darüber besonders deshalb angeführt, damit es Glaziologen, die ähnliche Arbeiten vorhaben, möglich werde, für ihr Unternehmen die richtigen Vorkehrungen zu treffen, ohne auf unerwartete Schwierigkeiten zu stoßen.

## **B. Der Firnteil des Grossen Aletsch.**

### **11. Die äussere Erscheinung der Firnschichtung.**

Bei unserer pollenanalytischen Untersuchung gehen wir zweckmäßig vom Firnfeld aus. Es ist das Akkumulationsgebiet, das Zuwachsgebiet des Gletschers, das vom obersten Bergschrund bis zur Firngrenze reicht. Dort fallen die Niederschläge fast nur in Form von Schnee. Erst gegen die Firngrenze zu gelegentlich in Form von Regen. Der Schnee bleibt liegen und verfirnt, das Regenwasser dringt oberflächlich in den Firn ein, und zwar so lange, bis es seine Wärme abgegeben hat und dann zur Umkristallisation und zur Vergrößerung der berührten Schneekristalle beiträgt. Es

ist einleuchtend, daß das Regenwasser in höheren Regionen weniger tief eindringt als in tieferen, wo an sich mehr Wärme an der Gletscheroberfläche zur Verfügung steht. Eine ähnliche Wirkung hat das Schmelzwasser. Auch im Firnteil des Gletschers treten von Ende Juni bis Ende September Schmelzperioden auf, in denen die oberste Firnschicht bis auf einen gewissen Horizont wieder abgeschmolzen wird. Die Abschmelzung wird wiederum in tieferen Lagen beträchtlicher sein als in höheren. Gleichzeitig mit dieser Abschmelzung fallen die größten Staubniederschläge, die ja ebenfalls an das schöne Wetter gebunden sind. So entstehen weite Firnflächen, die schon äußerlich durch eine dunklere Färbung hervorstechen, die weniger auf die eigentlichen Staublagen, als auf die Verdrängung der Luft aus den obersten Schichten durch das Schmelzwasser zurückgehen. Die Erfahrung an den verschiedensten Gletschern lehrt, daß das abfließende Schmelzwasser nur sehr geringe Mengen Pollen mit sich führt und daß der meiste Staub während des Schmelzvorganges abgesunken ist und sich in der obersten, leicht grauen Firnschicht angesammelt hat, da er in das Haarspaltennetz nicht derart eindringen kann, wie das Schmelzwasser. Je höher oben wir uns befinden, um so kürzer und flüchtiger werden diese Schmelzperioden sein, um so weniger dicht werden die ~~«grauen Firnhäute»~~ sein und um so weniger Pollen aus längeren Zeiträumen werden sich durch Absinken auf die gleiche Ebene sammeln können. Je näher wir dagegen der Firngrenze kommen, um so größere Schichtpakete werden der Abschmelzung verfallen können, um so mehr Pollen werden gelegentlich auf ein und demselben Horizont gespeichert werden. Es kann in solchen Fällen vorkommen, daß der Schnee eines ganzen Jahres zum größten Teil abschmilzt und dann die Pollen aller Jahreszeiten in ein und derselben Schicht aufgespeichert werden.

Wollen wir also ein klares, möglichst ungestörtes Jahresprofil haben, so nehmen wir die Proben von Firnpaketen, die hochgelegen sind, oder doch zur Zeit ihrer Entstehung in Hochlagen waren. Je näher man der Firngrenze kommt, um so größer ist die Möglichkeit, daß die einzelnen Jahreszeiten sich nicht mehr in einzelnen Firnschichten getrennt dokumentieren.

Die schönsten Firnschichten konnte man am Aletsch im Gebiet des Gletscherbruchs zwischen Trugberg und Grüneck auf dem Ewigschneefeld (3150 m) beobachten. Der Firn war dort schon

in geringer Tiefe in Eis übergegangen und in turmartige Schollen aufgelöst. Jede Scholle zeigte eine Bankung, deren Bestandteile nach Farbe, Korngröße, Mächtigkeit der Einzelschicht schon äu-

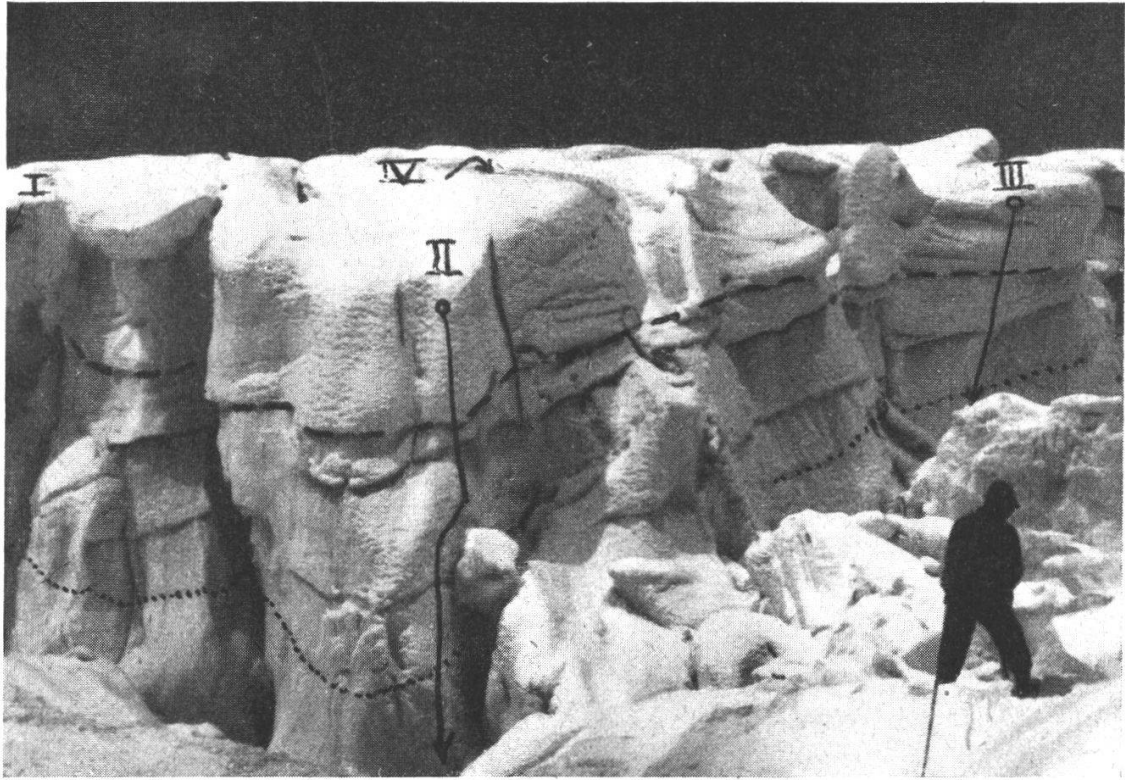


Abb. 18. Ewigschneefirn. In Schollen aufgebrochene Eismassen, die die Firnschichtung deutlich zeigen. Links anschließend ist Profil I (Abb. 19) zu denken. Profil II und III sind sichtbar, Profil IV liegt in der Richtung des Pfeiles. Die «Leithorizonte» zwischen den Schichten b/c und f/g sind gestrichelt, bzw. punktiert eingezeichnet.

ßerlich charakterisiert war (Abb. 18). Benachbarte Schollen konnten Schicht für Schicht einander zugeordnet werden, so daß der Eindruck entstand, eine an sich ungestört gelagerte Firn- und Eismasse sei lediglich in Schollen aufgelöst, ohne daß die gegenseitige Verschiebung der Schichtkomplexe in verschiedene Tiefen stattgefunden hatte.

Dieses an sich so eindeutig erscheinende äußere Bild kann nun mit ganz verschiedenen Augen gesehen werden. Heim u. a. (siehe S. 19) sehen in dieser Bankung die Wirkung wechselnder Witterungsperioden. Philipp dagegen sieht in ihr Scherungsflächen, die vor der Trennung der Schollen entstanden sein müssen durch Abscherung beliebiger Schichtteile über anderen. Da diese Sche-

rungen mehr oder weniger unabhängig von der durch Schneefall usw. entstandenen ursprünglichen Lagerung erfolgt, ist zu erwarten, daß sich die Scherungsflächen diskordant verhalten zu den Wetterschichten, die unsichtbar geworden wären. Pollenanalytisch müssen aber die Wetterschichten auf alle Fälle erhalten geblieben und nachweisbar sein. Wenn wir unter aspektstratigraphischer Lagerung ein Lagerungsverhältnis verstehen, das durch Eislagen verschiedener Pollenaspekte charakterisiert ist und unter ungestörter aspektstratigraphischer Lagerung die Tatsache verstehen, daß die ursprüngliche Lagerung, bei der von unten nach oben Frühling-Sommer-Herbst-Winter in immer gleicher Reihenfolge durch Pollen dokumentiert sind, dann können wir die Frage über die Firnschichtung so fassen:

Ist die äußerlich sichtbare Firnschichtung aspektstratigraphisch ungestört, was sich durch die Pollenanalyse herausstellen könnte, so handelt es sich dabei der Entstehung nach um die ursprüngliche Schichtung nach Wetterperioden bzw. Jahreszeiten. Ist aber die äußerlich sichtbare Firnschichtung aspektstratigraphisch gestört, so entspräche dieser pollenanalytische Befund den Voraussetzungen der Scherungstheorie. Um diese Frage klar zu entscheiden, wurden an jener Stelle fünf senkrechte Profile abgesteckt und die entsprechenden Proben zur Verarbeitung entnommen.

## **12. Ein senkrechtes Profil im Firnteil des Aletsch.**

Um den Umfang dieser Mitteilung möglichst einzuschränken, werden nicht alle Profile einer Gruppe besprochen, sondern immer nur eines, das genauer betrachtet wird, während die Darstellung der übrigen Profile, graphisch und im Text mehr summarisch behandelt wird (siehe S. 45). Das gilt auch für alle späteren Profilgruppen.

Aus Abb. 19 ergibt sich das äußere Bild von Profil I. Abb. 20 gibt die zugehörigen Analysen. Das gesamte Profil — es wurde durch Grabung nach unten zu noch etwas über das freiliegende Stück verlängert — umfaßt eine geschichtete Eismasse von 6 m Mächtigkeit. Die oberste Schneesicht a rührte von Schneefällen des August 1935 her. Darunter liegt, durch dünne Blätterung gekennzeichnet, eine dichtere Kruste, die offenbar einer vorangehenden Schmelzperiode entspricht. Die ganze Schicht b als



solche hat jedoch eine deutlich von a unterschiedene Konsistenz, so daß der Eindruck entsteht, sie sei nicht direkt vor a entstanden, sondern repräsentiere ein älteres Firnstück, das schon län-

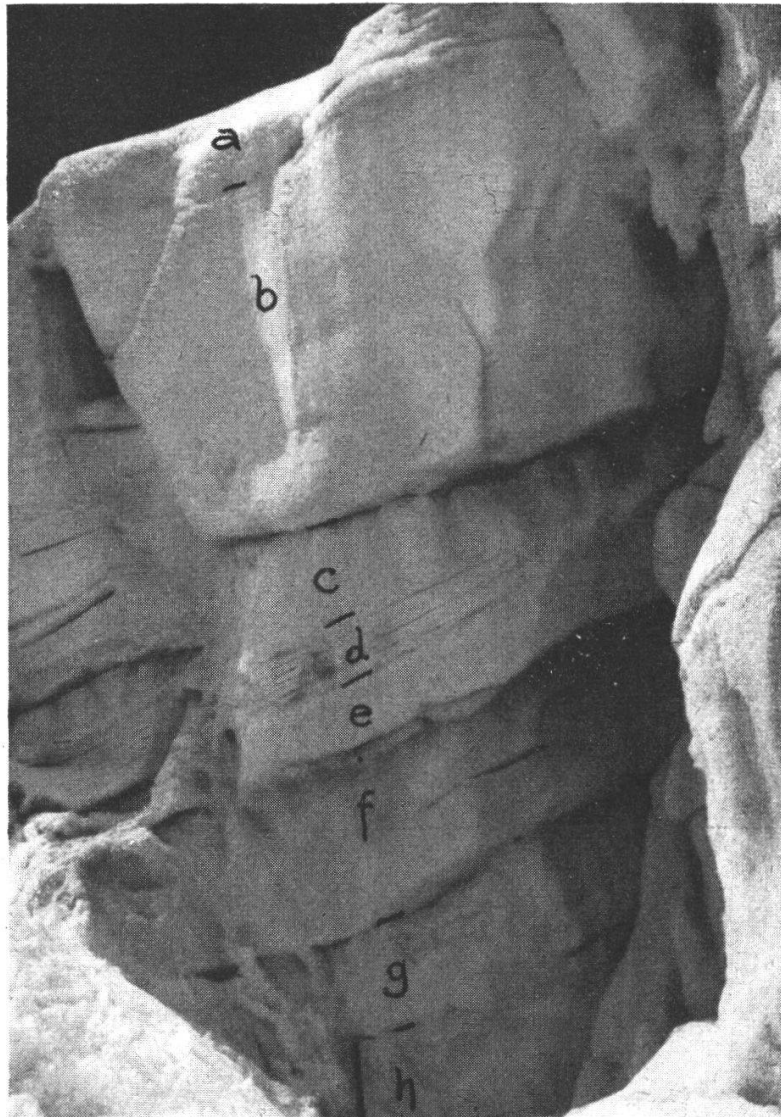


Abb. 19. Profil senkrecht durch eine Firnscholle im Ewigschneefirn.

gere Zeit gelagert hat, ehe die Schneesicht darauf fiel. Zwischen b und c treffen wir die erste deutliche Trennungsschicht. d ist ein nicht durch deutliche Trennungsschichten, sondern nur durch seine blätterige Struktur gegen c und e abgegrenzter Schichtteil. Außerdem ist e mit etwas größerem Gletscherkorn ausgestattet als c. Mitten in der Schicht f ist eine Bruchstelle, die jedoch auf unserem Bild nur scheinbar eine Beziehung zur Schichtung hat,



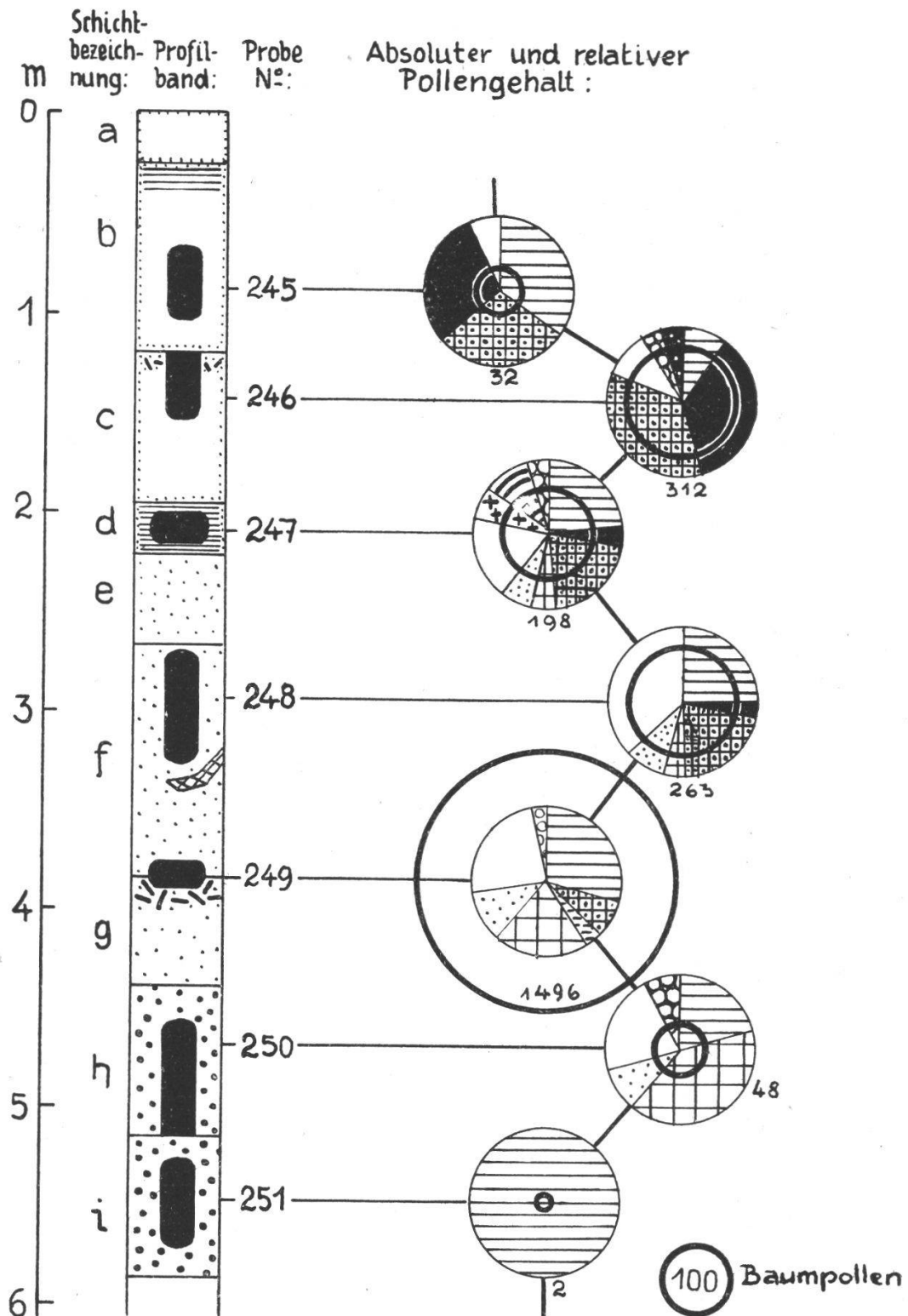


Abb. 20. Diagramm von Profil I (Erklärung der Signaturen in Abb. 56 am Schluß des Textes).

der Bruch fällt steil nach unten ein, so daß er etwa der Abtrennung eines neuen Schollensplitters entspricht und nicht etwa einer Gleitbahn parallel zur Schichtung. Die Grenzschicht zwischen f und g enthält deutlich viele Verunreinigungen, die schon mit freiem Auge wahrgenommen werden können. Sie haften nicht bloß äußerlich an, sondern werden auch beim Abgraben im Innern der Eisscholle noch deutlich (vgl. S. 67).

h und i besitzen noch gröberes Korn und enthalten keine Verunreinigungen mehr.

Verfolgen wir nun von unten nach oben zunächst nur die absoluten Pollenmengen pro 1 dm<sup>3</sup> Eis bzw. Firn. In der tiefsten Schicht fehlen die Pollen fast völlig. Dann nimmt die Zahl zu bis zu jener schon äußerlich als staubreich gekennzeichneten Grenzschicht g/f. Dieses Maximum ist — verglichen mit dem Pollengehalt anderer pollenreicher Stellen zwar nicht sehr hoch, aber immerhin weit über die Pollenmengen der anderen Teile des Profils herausragend. Von hier aus fällt die Pollenzahl wieder ab, steigt nochmals an auf 312 Pollen pro Kubikdezimeter und fällt dann auf nur 32 Pollen ab. Wir haben also innerhalb des Profils zwei Pollenmaxima.

Durch die qualitative Analyse ergibt sich folgendes Bild: Die beiden Waldföhrenpollen der Probe Nr. 251 sind in dem sonst pollenfreien Eis wohl als Restpollen einer früheren Vegetationsperiode zu deuten. Die betreffende Schicht ist als Winterschicht, zur Zeit der Verarmung des Pollenregens entstanden, zu denken. Das allein wäre noch nicht beweisend. Denn es wäre denkbar, daß auch mitten im Sommer während einer längeren Periode des Schneiens der Pollenregen fast völlig eingestellt werden würde. Entscheidend ist erst die Lage dieser pollenfreien Schicht unter einer Schicht mit etwas größerem Pollengehalt, deren Pollen ausnahmslos durch frühblühende Arten verstäubt worden sein muß (Nr. 250). Vor allem der große Gehalt an Haselpollen ist hier entscheidend. Dann aber auch das Fehlen vieler erst später im Jahr auftauchenden Pollen, wie der Fichte, der Zirbe, der Linde. Schon in der darüberliegenden Grenzschicht g/f taucht jedoch die Fichte als Sommerblüher auf, während die Frühlingsblüher abnehmen, mit Ausnahme der Erle, die prozentual auch noch in der nächsten Schicht zunimmt. Wie wir dieses verspätete Erlenmaximum zu deuten haben, wissen wir: Es geht auf das Blühen der Alpen-

erle zurück. In dieser Schicht tauchen die ersten Zirbenpollen auf. Die Schicht d ist qualitativ besonders reichhaltig. Es scheint, daß hier Pollen aus den tieferen Lagen des Rhonetals (*Ulmus*, *Quercus*) besonders stark vertreten sind, daß also zur Zeit der Entstehung der Schicht die Talwinde (vgl. S. 30) besonders wirksam waren. Das deutet an sich auf eine Schönwetterperiode hin. Sie ist jedoch im Eis durch keine ausgesprochene Trennungs- (= Abschmelzungs-)schicht ausgeprägt. Ein Beispiel dafür, daß das pollenanalytische Bild auch dann Auskunft gibt, wenn die äußere Einschätzung der Schichtform zu keinem sicheren Schluß führt. Immerhin kann die leichte Blätterung der Schicht d als eine Wirkung dieser in der Höhe wohl kalten Schönwetterperiode gedeutet werden. Dabei wurde jedenfalls die Luft reichlich mit Pollen angereichert, so daß in der nun folgenden Schicht das zweite Maximum mit 312 Pollen pro Kubikdezimeter Eis erreicht wurde. Jetzt sind die Frühlingspollen stark zurückgedrängt, der Zirbenpollen dominiert. Und als besonders deutliches Anzeichen des späten Aspektes sind die wenigen, aber um so charakteristischeren Lindenpollen zu verzeichnen. Die letzte Probe Nr. 245 enthält nur mehr wenige Pollen. Die im Jahreslauf als Ganzes häufigen *Pinus silvestris*- und *Alnus*pollen sind als Restpollen der Vegetationsperiode zu deuten. Fichte und Zirbe als Reste der letzten Blühzeit des Jahres. Die Linde ist bereits, obwohl sie doch zuletzt geblüht haben muß, wegen ihrer an sich geringen Kapazität verschwunden.

Dieses pollenanalytische Bild deckt sich weitgehend mit der im Abschnitt Pollenaspekte gegebenen Reihenfolge der Blühfolgen und Sedimentfolgen im Laufe eines Jahres. Da das Profil aus großer Meereshöhe stammt, ist auch nicht zu erwarten, daß etwa innerhalb desselben eine ganze Jahresschicht abgeschmolzen wäre, so daß die Aspektfolge nur scheinbar kontinuierlich wäre (vgl. S. 71). Das Profil gibt also die Schneefälle eines Jahres wieder.

Die Staubschichten sind nicht äußerlich angeflogen, sonst müßten sie ja alle ungefähr den gleichen Aspekt, den zur Zeit der Probenentnahme, etwa ähnlich dem von Probe 246, enthalten. Die Firnschichtung ist an dieser Stelle auch nicht durch Scherungsflächen diskordant zur ursprünglichen Schichtung entstanden, sonst müß-

ten die Aspekte entweder überhaupt bis zur Unkenntlichkeit verwischt sein oder jedenfalls nicht in dieser Reihenfolge, die genau der Blühfolge im Laufe des Jahres entspricht, auftauchen. Die Firnschichtung dieser Stelle ist hier vielmehr ursprünglich und entspricht den Wetterperioden, wie Heim, Heß u. a. vorausgesetzt haben.

Um jedoch zu einer endgültigen Absage an die Anschauung Philipps zu gelangen, genügt dieses eine Profil nicht. Erst viele Profile nebeneinander ergeben ein vollständiges aspektstratigraphisches Bild, das dann freilich, wenn es dem hier angegebenen ersten Profil entspricht, endgültige Beweiskraft hat.

### **13. Weitere senkrechte Profile aus den Firngebieten des Aletsch- und Gepatschgletschers.**

In der Nähe des ersten Profils wurden drei weitere Profile entnommen, die in Abb. 18 der Lage nach eingezeichnet sind. Die Proben wurden so entnommen, daß die korrespondierenden Stellen an den einzelnen Eisschollen angegraben wurden. Dabei dienten vor allem die Grenzsichten b/c und g/f als Leithorizonte. Die Analysen ergaben das vollkommen gleichsinnige Resultat, wie das von Profil I. Dabei wurde bei Profil III noch die Frage des Pollenanflugs an die Schichtgrenzen gesondert geprüft. Wie man schon äußerlich sieht, ist dieses Profil etwas anders als die anderen. Die Firnpakete sind zwar offensichtlich dieselben, wie bei Profil I, ihre gesamte Sprunghöhe ist aber statt 6 m nur etwa 4 m. Ob es sich um Pressungen, stärkeres Kornwachstum auf Kosten des Volumens (Auspressen von Wasser und Luft) oder um eine schon bei der Entstehung des Firns aufgetretene Verschiedenheit in der Mächtigkeit der Schichten handelt, kann nicht mehr bestimmt werden. Immerhin ist auffallend, daß die Aspektstratigraphie unbekümmert um diese Verschiedenheiten den Charakter der anderen Profile wiederholt. Es ist an diesem Profil die Schmutzschichtung am Horizont f/g ganz besonders deutlich zu sehen (Abb. 18, 21). Während die Schicht f bis zum Grunde vollkommen rein ist, ist der Horizont f/g stark verunreinigt und auch noch einige Zentimeter nach unten in die Schicht hinein schmutzhaltig. Nach Philipp wäre diese Schmutzschicht nun ein Anflug von Staub (Blüten-

staub und mineralischem Staub) aus der Luft, der erst nach Trennung des Firns in die einzelnen Bänke sich an der Schichtgrenze festgesetzt hatte. Wenn das der Fall war, dann mußte das pollenanalytische Bild sich im Innern des Eises anders verhalten als an

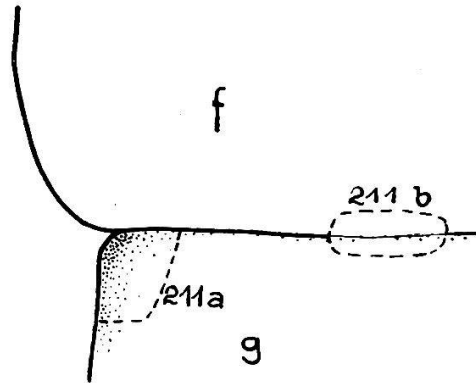


Abb. 21. Detail aus Profil III. Die Punkte zeigen die Verteilung der dem freien Auge sichtbaren Verunreinigungen der Schichten f und g. Die gestrichelte Linie grenzt die für die Proben 211 a und 211 b entnommenen Eisteile ab.

der äußeren Schmutzschicht. Um das zu prüfen entnahm ich an dieser Stelle zwei Proben: Die eine (Nr. 211a) enthielt nur den äußerlich sichtbaren Staub, das oberste Eis, die andere (Nr. 211b) wurde einem etwa 80 cm tief in die Eisscholle gegrabenen Loch entnommen und enthielt den Staub aus der Trennungsschicht ohne Außenanflugmöglichkeit. Zunächst zeigte schon die Messung der Sedimentmengen nach dem Zentrifugieren, daß die Außenschicht tatsächlich, wie Philipp ebenfalls beobachtet hatte, mehr Sedimente enthielt als die Innenschicht. Pro 1 dm<sup>3</sup> Eis enthielt die Außenprobe 4 cm<sup>3</sup> Staub, die Probe aus dem Innern nur 0,5 cm<sup>3</sup>. Dementsprechend wurden außen auch mehr Pollen gezählt als innen. Der prozentuale pollenanalytische Befund jedoch war nahezu gleich:

	Gesamtzahl der Baupollen pro 1 dm <sup>3</sup> Eis	Prozente der einzelnen Pollenarten							
		Föhre	Fichte	Ulme	Tanne	Hasel	Birke	Erle	Weide
Außenprobe 211 a	5404	20	18	1	2	19	16	13	11
Innenprobe 211 b	889	15	22	—	1	15	20	19	8

Der Unterschied zwischen Außen- und Innenprobe prägt sich nur in den absoluten Zahlen, entsprechend der absolut größeren

Staubmenge aus. Die qualitativen Unterschiede sind gering und auch gegen die Probe 248 von Profil I hin nicht ins Gewicht fallend. Wenn man mit diesem Befund die vorhin erwähnte Beobachtung vergleicht, daß das abfließende Schmelzwasser im Verhältnis zur Schicht, der es entstammt, auffallend wenig Pollen mit sich schleppt, so kommt man zwangsläufig zu einer anderen Auffassung dieser stark staubigen Schichtanrisse als Philipp.

Die Eisscholle ist nach Freilegung durch den Abriß von der benachbarten Firnwand sogleich der Schmelzung unterworfen. Diese Schmelzung ist für verschiedene Schollenteile verschieden groß je nach Beschattung usw. Dabei werden aus dem Innern der Schichtfläche f/g immer mehr Staubteilchen an die Oberfläche gelangen und zunächst noch festgehalten, während das Schmelzwasser nicht alle, sondern nur einen kleinen Teil der ausgeschmolzenen Staubteilchen entführt. So kommt es, daß zwar eine Anreicherung von Staub und Pollen an den Außenseiten der Schichtgrenzen stattfindet, eine Anreicherung, die nicht von außen kommt, sondern aus dem angeschmolzenen Innern des Eises stammt.

An andern Stellen des Aletsch wurde dieser Vergleich zwischen Staub, bei dem Außenanflug eine Rolle spielen kann und Inneneis öfters wiederholt. Dabei zeigte sich, daß tatsächlich einige Male Anflug von außen nachgewiesen werden konnte. Jedoch war dieser Anflug an den Schichtgrenzen immer nur spurenmäßig festzustellen und kam größenordnungsmäßig gegenüber dem übrigen Aspektbild nicht in Betracht.

Bei der Bearbeitung des Profils II wurden auch die obersten Schichten a und b untersucht. Das Profil, das im übrigen vollkommen mit den anderen übereinstimmte, brachte an dieser obersten Zone noch eine Überraschung. Wie aus Abb. 22 hervorgeht, zeigte die Probe aus der obersten Schicht a, wie zu erwarten war, einen Herbstaspekt, der in hohem Maß an den von Probe 246 von Profil I erinnert. Probe 254 des Profils II entspricht der Probe 245 von Profil I. Nur scheint in diesem Herbst-bis-Winteraspekt mit den nur 20 Pollen eher eine noch spätere Phase als in Profil I dokumentiert, wo die Fichte sich noch stärker gegen die Restpollen Föhre und Erle behauptet.

Am auffallendsten aber erscheint Probe 253. Die Gesamtzahl der Pollen ist sehr hoch und es kommen neben den dominieren-



den Föhren- und Erlenpollen auch noch Herbstpollen (Zirbe), Sommerpollen (Eiche, Ulme, Tanne) und ausgesprochene Frühjahrspollen (Corylus) vor. Insbesondere das gleichzeitige Vorkommen von Zirben- und Haselpollen zeigt, daß hier kein bestimmter Einzelaspekt getroffen wurde, sondern daß die hier mit  $b_1$  bezeichnete Schicht den Firnrest eines ganzen Jahres mit den

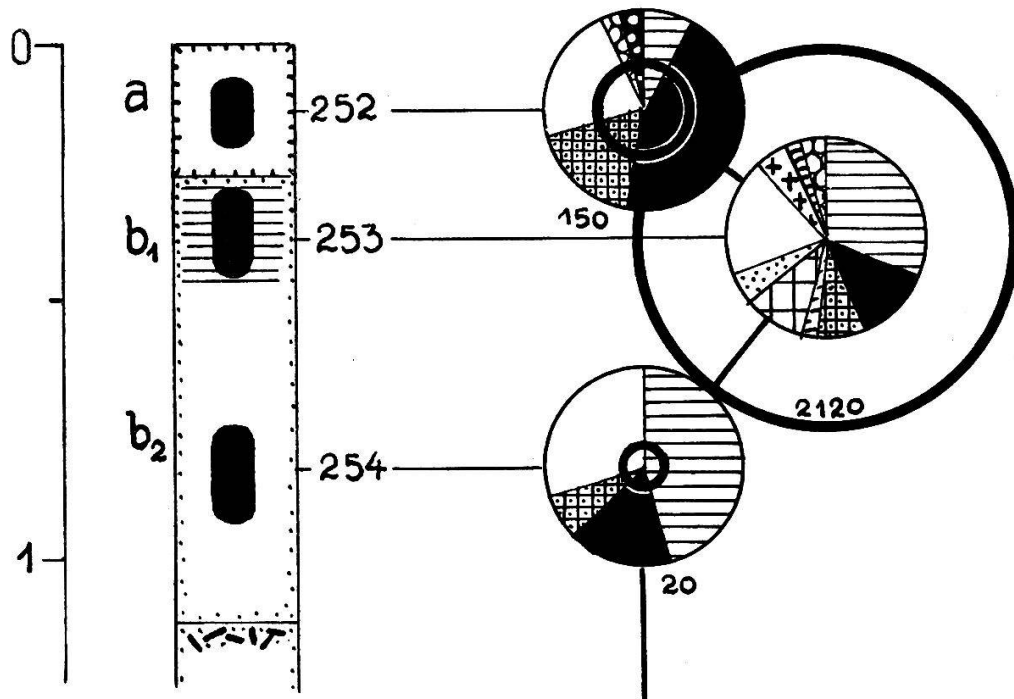


Abb. 22. Diagramm des obersten Teiles von Profil II (Erklärung der Signaturen in Abb. 56).

Pollen eines ganzen Jahres bewahrt. Ja, es ist möglich, daß auch mehrere Jahre dabei zusammenfallen, wenn auch — angesichts der nicht übermäßig über die Pollenzahl der Proben von Profil I hinausgehenden Gesamtsumme — nicht gerade wahrscheinlich. Jedenfalls dürfen wir die weithin verfolgbare Blätterung der Schicht  $b_1$  als Zeugen aufeinanderfolgender Schmelzperioden auffassen.

Auf die seltsame Tatsache, daß hier eine oder mehrere nur dezimeterdicke Jahresschichten auf einer mächtigen Jahresschicht von über 4 m zu liegen kommen, werde ich im folgenden Abschnitt noch zurückkommen.

Faßt man nun unsere Profile als Stichproben auf und verallgemeinert den Befund auf die benachbarten Eisteile, wobei die Leithorizonte als Anhaltspunkte dienen, so entsteht ein aspekt-

stratigraphisches Bild, wie es in Abb. 23 dargestellt ist. Die Pollenanalyse gibt nun einen Einblick in den Bau ganzer, großer Firnkomplexe und es ist lediglich eine Frage der aufwendbaren Mühe und Zeit, diesen Befund räumlich immer weiter auszudehnen. Ich habe mich am Aletsch mit dieser Profilgruppe begnügt, weil sie nach meiner Ansicht genügend Beweiskraft für den Cha-



Abb. 23. Ewigschneefirn. Dieselben Eisschollen wie auf Abb. 18. Nach beendiger Untersuchung der Profile läßt sich die ganze Firnmasse in Aspektschichten gliedern: H = Herbstschichten, J = eine oder mehrere Ganzjahresschichten (schraffiert), H—W = Herbst-, mit anschließender Winterschicht, S = Sommerschicht, F = Frühlingschicht.

rakter der Entstehung der Firnschichten hat und weil durch neue Analysen keine neuen Tatsachen hätten gewonnen werden können.

Dagegen ist es von großem Interesse, zum Vergleich einige Profile von anderen Gletschern heranzuziehen. Im Firnteil des Gepatschferners (Ötztalergruppe) wurde bei 3080 m an einem riesigen Staffelbruch (Abb. 11) ein senkrechtes Firnprofil entnommen (vgl. Vareschi, 1935). Dabei wurden folgende Tatsachen durch die Analyse festgestellt: Eine Abhängigkeit des

Pollengehalts von der Korngröße, Farbe und Mächtigkeit der Schichten war nicht feststellbar; mit anderen Worten, die Sommerschichten waren nicht schon mit freiem Auge von den Winterschichten zu unterscheiden, was auch am Aletsch — abgesehen von der stärkeren Staublage der Trennungsschicht f/g — zutreffen würde. Eine verhältnismäßig dünne Schicht zeigte große Pollenmengen, deren prozentuales Verhältnis dem eines jährlichen Gesamtspektrums entsprach. Sie grenzte nach unten an einen Sommeraspekt, nach oben an einen Frühlingsaspekt und wurde als Firnrest eines ganzen Jahres angesprochen. Die übrigen Schichten zeigten alle einen zeitlich enger begrenzten Aspekt. Das ganze Profil enthielt bei einer Mächtigkeit von insgesamt 10 m etwa 7 Vegetationsperioden, entstammte also mindestens 7 Jahren. Die einzelnen Jahre waren durch verschieden mächtige Schichtpakete repräsentiert: Im Mittel traf es 1,5 m pro Jahr, das Minimum ergab die oben erwähnte Ganzjahresschicht von nur 40 cm, das Maximum eine darunterliegende Schicht von 240 cm Sprunghöhe.

Einen weiteren Beitrag zur Stratigraphie der Firnteile der Gletscher ergibt die Untersuchung eines Firnprofils am Claridenfirn. Dieses Profil ist in mehrfacher Hinsicht besonders wichtig: 1. hat an der Stelle, an der die Proben entnommen wurden, Streiff-Becker (1936) in sorgfältigen zwanzigjährigen Beobachtungen Firnzuwachsmessungen gemacht, so daß der Firnzuwachs und die Abschmelzung bereits bekannt waren und dadurch geprüft werden konnte, ob unsere Methode einwandfrei arbeite. 2. wurde das Profil nicht an einer freien Eiswand entnommen, sondern mitten im ebenen Firnfeld ausgegraben, so daß ein Anflug von außen nicht in Frage kam. 3. lag das Profil dicht oberhalb der klimatischen Firngrenze, und gibt uns so ein Beispiel für die Verhältnisse in dieser Höhe im Gegensatz zu den bisher erwähnten Profilen, die alle weit über der Firngrenze entnommen worden waren. Wie oben (S. 65) bereits angedeutet wurde, sind hier die aspektstratigraphischen Lagefolgen viel komplizierter als in größerer Meereshöhe, weil die stärkere Abschmelzung die Jahresschichten an sich verkleinert, den Schnee mehrerer Jahreszeiten oft auf dieselbe Ebene zurückschmilzt und Störungen durch Schmelzwasseransammlungen usw. möglich sind. Die Untersuchung ergab damals tatsächlich eine mittlere Sprung-

höhe von nur 0,21 m, wobei 5 Jahre überhaupt nicht mehr durch Schichten dokumentiert, sondern nur durch starke Pollenansammlungen an gewissen Grenzflächen bemerkbar waren. Durch den Vergleich mit den Streiffischen Messungen konnten die betreffenden Jahre genau festgestellt werden. Der synchronische Charakter der Messungen Streiffs mit dem pollenanalytischen Befund ergab vollkommene Übereinstimmung. Schließlich ergaben vereinzelte Stichproben vom Schönbühlgletscher (Walliser Fiescherhörner), vom Zugspitzplatt und vom Alpeiner Ferner (Stubaiergruppe) überall das grundsätzlich gleiche Bild gesetzmäßig übereinandergelagerter Firnschichten, mit entsprechender, durch die jeweiligen Aspekte bestimmter pollenanalytischer Charakterisierung.

#### **14. Das aspektstratigraphische Bild des Firngebietes.**

Es gilt nun, von den vielen Einzelbeobachtungen ausgehend, das aspektstratigraphische Bild eines Gletschers im allgemeinen zu entwerfen. Zunächst halten wir uns nur an den obersten Teil desselben, an das Firngebiet, dem unsere Befunde entstammen und lassen die Firnschicht eines Jahres entstehen und verfolgen sie auf ihrem Weg zur Firngrenze.

In Abb. 24 stellt UU' den Untergrund des Gletschers dar. UU' MM' wäre die Masse des Gletschers selbst im medianen Längsschnitt dargestellt und aus — der Einfachheit halber nur wenigen — Jahresschichten entstanden gedacht. Die einzelne Jahresschicht hat ihrer ganzen Länge nach — sie reicht von der höchsten Stelle M' aus bis zur Firnlinie FF' — nicht dieselbe Mächtigkeit. Bei der Firnlinie ist sie durch die stärkere Abschmelzung nur dünn, bei M' am mächtigsten. Die jetzt an der Oberfläche des Gletschers liegende Jahresschicht 1 kommt nach einem Jahre an die Stelle der Schicht 2, rückt also um den Betrag der Bewegung des Eises pro Jahr vor. Das nächste Jahr rückt diese Schicht an Stelle der Schicht 3 usw. Dabei ist nun folgendes auffällig: Im Gebiet der Firnlinie kommen beim senkrechten Profil PP' immer mächtigere Firnschichten untereinander zu liegen, je mehr das Eis aus höheren Teilen des Gletschers mit geringerer Abschmelzung kommt. Auch qualitativ werden sich die Profile ändern. In großer Tiefe werden alle Jahreszeiten im aspektstratigraphischen



Abb. 24. Medianer Längsschnitt durch den Firnteil eines Gletschers nach den pollenanalytischen Befunden (schematisiert und überhöht). Erklärung der Abkürzungen im Text.

Bild erhalten sein, weil nur ausnahmsweise die Sedimente einer späteren Jahreszeit auf der Oberfläche der früheren durch Schmelzung mit den Sedimenten dieser Jahreszeit vermischt werden können. Gegen die Oberfläche zu werden zunächst die Aspekte des Frühlings durch die sommerliche Abschmelzung mit Sommerpollen zusammenkommen und nahe der Oberfläche werden alle Aspekte zusammen in ein und denselben Horizont fallen. Der Übergang zwischen diesen Gesamt-Jahresaspekten und den nach Jahreszeiten getrennten Aspekten müßte bei einem Gletscher, dessen Bewegung stationär und stetig ist und dessen Abschmelzungserscheinungen jedes Jahr und an jeder Stelle der Oberfläche gleiche Beträge erreichen, allmählich sein. Daß in unseren Profilen I—IV dieser Übergang (vgl. S. 69) sprunghaft ist, führe ich besonders auf starke Verschiedenheiten der Abschmelzung zurück, wie ich sie am Aletsch ganz allgemein in den fünf Jahren der Beobachtung bemerkte. Am Claridenfirn wurde in dem elfjährigen Profil noch keine solche Tiefe erreicht, daß eine stärkere Aspektdifferenzierung und eine schwächere Abschmelzung zu bemerken gewesen wäre. Der Claridenfirn ist sehr flach und die Zunahme der Firndicke nach oben ist kaum ins Gewicht fallend. Dagegen sind die Jahresschichten der Profile vom Gepatsch (Vareschi, 1935) mit diesen Erscheinungen vielleicht in Zusammenhang zu bringen. Dort zeigte ein Profil, das bedeutend oberhalb der Firnlinie lag, eine durchschnittliche Mächtigkeit der Jahresschichten von 1,5 m, ein zweites, das ihr näher lag von 1,3 m. Im ersten Profil war die unterste angetroffene Frühlingschicht ganz ohne Einstreuung von Sommerpollen, die oberen Frühlingschichten waren etwas mit Sommerpollen versetzt, die obersten Jahre enthielten nur mehr grob den Unterschied Sommer—Winter, ohne feinere Aspektdifferenzierung.

Eine weitere Eigenschaft unseres Profils von Abb. 24 ist die, daß die nunmehr senkrecht untereinander angetroffenen Eisteile aus verschiedenen Zonen des Gletschers, aus verschiedener Seehöhe stammen. Fassen wir auf der Oberfläche des Gletschers die Firnteilchen A, B, C—K ins Auge, so ergibt sich, daß das Teilchen A in einem Jahre in Richtung der Gletscherbewegung sich verschiebt und gleichzeitig eingeschneit wird, also nach A<sub>1</sub> gelangt; B gelangt nach zwei Jahren nach B<sub>2</sub>, C nach drei Jahren nach C<sub>3</sub> usw.



Für die obere Begrenzung der Firnschicht 1, die nach 2, 3 usw. im Laufe der Jahre abwandert, ergibt sich, daß sie nach oben hin auskeilen muß. Die Eisbewegung und die Abschmelzung am Grunde des Gletschers — durch SS'U' symbolisiert — wirken in dieser Richtung. Diese Auskeilungen bewirken nach dem Grund des Gletschers hin eine neuerliche Verdünnung der Schichten, wie sie durch die Schichten 11—12 der Skizze angedeutet ist. Es handelt sich hier um ein logisches und konstruktives Ergebnis. Wir konnten ja auf pollenanalytischem Wege über die unteren Schichten nichts feststellen, da unsere Profile nur aus den aller-obersten Teilen des Gletschers stammen. Um dies anzudeuten, wurde in unserer Abb. 24 auf die Darstellung der unteren Schichten überhaupt verzichtet. Es gelangen übrigens nach Abb. 24 auch Teilchen der Gletscheroberfläche (L) bis auf den Grund (L') und schmelzen dort aus. So gehen die zu oberst am Gletscher entstandenen Profile der späteren Untersuchung verloren.

Denken wir uns die aspektstratigraphische Signatur des Profils PP' auf den ganzen Gletscher ausgedehnt, so haben wir das Bild, das die oberflächliche Zone des Firnteils eines Gletschers nach unserer Untersuchung bietet. Wir müssen jedoch uns der Verallgemeinerungen bewußt bleiben, die unsere Skizze enthält und die über das Maß dessen, was durch Pollenanalyse einwandfrei feststeht, hinausgehen. Immerhin ist evident, daß das Bild, das wir auf pollenanalytischem Wege erhielten, der Vorstellung, die Finsterwalder auf geometrischem Wege entwarf, nirgends widerspricht.

## **C. Der Ogiventeil des Grossen Aletsch.**

### **15. Das Problem der Ogiven.**

Ähnlich wie wir bei der pollenanalytischen Bearbeitung des Firnteiles der Gletscher die Firnschichtung als Anhaltspunkt für die Orientierung unserer Profile benützt haben, so benützen wir für die Untersuchung des oberen Ablationsgebietes die Ogiven (und ergänzend auch das sogenannte Pflugfurcheneis) und es wird sich dabei erweisen, daß die Natur dieser Gletschertextur pollenanalytisch ermittelt, so recht das experimentum crucis zur Frage nach dem «Wie» der Gletscherbewegung ist.

Unter Ogiven versteht man jene bogigen bis spitzbogigen Schmutzstreifen, die manche Gletscher in großer Zahl überziehen und die in ihrer Form die bekannte Zunahme der Gletscherbewegung nach der Mitte hin, die Abnahme dem Rande zu, widerspiegeln. Zusammengesetzte Gletscher haben für jeden Teilstrom ein besonderes System von Ogiven.

Schon seit Forbes (1843) ist diese Erscheinung vom Mer de Glace in der Montblanc-Gruppe bekannt, wurde aber im Laufe der Zeit sehr verschieden gedeutet und bis heute prallen hier die Meinungen aufeinander, ohne daß eine davon so beweiskräftig unterbaut werden kann, daß sich die anderen ihr beugen müßten. Forbes selbst gab noch keine eigentliche Erklärung; er führte das Problem nur auf eine andere Erscheinung zurück, die ihrerseits unbewiesen und wenn vorhanden, unerklärlich blieb: Er glaubte nämlich, daß die dunklen Streifen poröser als die hellen seien, jene könnten den äußerlich anfliegenden Sand und Staub besser festhalten als diese, so daß der Farbunterschied entstehe. Spätere Forscher, vor allem Tyndall (1876), Heim (1885), Sherzer (1907) und neuerdings wieder Heß (1931) geben eine andere Deutung: Der Ausgangspunkt der Ogiven ist der Gletschersturz. Dort bricht der Gletscher häufig in Staffel und Wülste auseinander. Zwischen diesen Staffeln sammelt sich Staub und Schmutz an. Am Grunde des Gletscherbruchs schließen sich die Querwülste wieder zusammen, ihre Mitte bewegt sich rascher als die Ränder, die Schmutzschlieren schmelzen wieder aus und müssen dann den bogenförmigen Verlauf zeigen, der die Ogiven charakterisiert. Solche Übergänge der Gletscherbrüche in Ogivenfelder wurden wiederholt beobachtet und scheinen die Ansicht dieser Forscher durchaus zu bestätigen. Freilich gibt es viele Gletscherstürze, an deren Fuß die Ogiven fehlen und Ogivenfelder, denen der darüber vorausgesetzte Gletschersturz nicht nachzuweisen ist. Wesentlich kompliziert wurden die Anschauungen über die Ogiven durch die Arbeiten Philipps (l. c.), der sie teilweise mit der Bänderung identisch erklärt und diese wieder nicht in Zusammenhang mit der ursprünglichen Firnschichtung, sondern als ältere und jüngere Scherflächen auffaßt. Eine eingehende Diskussion über den Charakter der Scherungs-Ogiven als durch einen Wechsel an Schmutzgehalt charakterisierter Texturen fehlt bei Philipp. Immerhin geht aus seinen Darstellungen hervor, daß

neben dem Eigengehalt der Scherungsogiven an Schmutz auch noch ein Staubanflug, ähnlich wie der an Firnscherungslinien mitbestimmend sein soll. «Nicht zu verwechseln mit diesen Schmutzbändern sind die Fälle, wo der feine Schmutz nicht im Band selbst enthalten ist, sondern nur oberflächlich an ihm haftet, wie dies verschiedentlich z. B. oberhalb Böniseck am unteren Grindelwaldgletscher beobachtet werden konnte. Da die Blaublätter sich häufig beim Schmelzen kammartig herausheben, so erklärt sich das Anhaften des feinen Schmutzes auf dieselbe Weise, wie das von mir (Philipp, 1912) beschriebene Haften von Staub an den Kanten zwischen benachbarten Firnschalen.» Für uns ist wesentlich, daß dieser äußerlich angeflogene Staub, da er das ganze Jahr hindurch die Ablationsfläche bestreut, das Jahresspektrum als Ganzes zeigen müßte. Woher der bereits in den Blättern innen aufgespeicherte Staub kommt, erfahren wir von Philipp nicht. Übrigens dürfte es, wie bereits Nußbaum (1929) einwandte, schwer fallen, die große Regelmäßigkeit der Ogiven (vgl. Abb. 14) als eine Folge vielfältiger Abscherungsserien darzustellen. Es erhellt aus einer einfachen Beobachtung der Verhältnisse in einem Ogivenfeld, daß Blaublätter und Ogiven nicht, auch nicht teilweise identisch sind, wie Philipp annimmt, sondern nur insofern in Zusammenhang stehen, daß der dunkle Teil der Ogiven reicher an Blaublättern ist als der helle.

In der erwähnten Arbeit von Nußbaum schließlich wird durch zahlreiche Beobachtungen wahrscheinlich gemacht, daß die Ogiven Serien von Jahresschichten seien, aus deren Anzahl das Alter der Gletscherzunge abgelesen werden könnte. Er schreibt am Schluß seiner Arbeit: «Es bleibt abzuwarten, ob sie (seine Ansicht über die Entstehung der Schmutzbänderung) durch weitere Beobachtungen bestätigt oder widerlegt wird.» Es erscheint bemerkenswert, daß seine kleine Schrift, die doch alle übrigen Gletscherforscher Heimscher sowohl als auch Philippscher Richtung auf den Plan hätte rufen müssen, fast unbemerkt blieb und durchaus nicht die aufrüttelnde Wirkung hatte, die sie nach ihren Behauptungen, die den bisherigen Auffassungen so sehr widersprachen, hätte haben müssen. Es ist unsere Aufgabe an Hand der Erscheinung der Ogiven am Aletschgletscher die Frage ihrer Entstehung pollenanalytisch zu prüfen.

Um Mißverständnisse zu verhüten, möchte ich im folgenden

die einzelnen Teile einer Ogive eindeutig bezeichnen. Den vordersten, nach dem Gletschertor hinweisenden Teil des Bogens nennen wir den Ogivenscheitel, die gletscheraufwärts verlaufenden Enden des Bogens Ogivenhörner. Diese beiden Bezeichnungen beziehen sich immer auf die dunkle Zeichnung, die zwischen zwei hellen Texturen sichtbar ist.

## **16. Die äussere Erscheinung der Ogiven des Grossen Aletschgletschers.**

Die Tatsache, daß die Oberfläche eines Gletschers sich langsam, aber stetig verändert, hat die Gletscherkunde offenbar seit jeher dazu veranlaßt, von einer genauen Darstellung der Oberflächentexturen, etwa einer genauen planmäßigen Aufnahme nach Art einer «Eislandkarte» abzusehen. Diesem Umstand schreibe ich es zu, daß in der Literatur immer wieder Unklarheiten über die Verteilung der Oberflächentexturen am Gletscher auftauchen. Ebenso fällt es auf, daß bisher wirklich eingehende Beschreibungen von Ogivensystemen fehlen. Es wird nur immer wieder das Vorhandensein oder Fehlen dieser Textur auf bestimmten Gletschern festgestellt und durch Photographien belegt. Die merkwürdige Tatsache, daß die Ogiven aus der Ferne sich deutlich abzeichnen, in der Nähe jedoch verschwinden, wurde wiederholt mitgeteilt. Für den Aletsch soll hier die Erscheinung genau beschrieben und festgestellt werden, ob zwischen ihr und anderen Oberflächenmerkmalen Beziehungen bestehen.

Ogibenbeobachtung aus der Ferne heißt, sich bei seiner Arbeit stets der Möglichkeit eines Fehlschlages auszusetzen. Wie oft sind wir nach mehrstündiger Kletterei auf einem Gipfel, einer vorspringenden Kanzel gestanden und haben auf die gleißende Fläche des Gletschers geschaut, ohne auch nur eine Spur von Ogiven zu sehen. Sonnenstand, Beschattung, Eisbeschaffenheit und der Winkel, aus dem auf den Gletscher gesehen wird, scheinen die Sichtbarkeit der Ogiven zu beeinflussen. Oft sind nur diejenigen Ogiven sichtbar, die sich durch starke Staublagen grau abheben, oft aber sind neben diesen noch ganze Serien von Ogiven zu sehen, die sich nur durch eine kaum wahrnehmbare dunkle Schummerung zu erkennen geben. Nach vielen Versuchen wurde festgestellt, daß am Aletsch weitaus die beste Einsicht vom Fuß des Schönbühlgletschers nahe am Herbrigsglat aus 3100 m Höhe zu erreichen ist. Die bekannt gute Übersicht vom Eggishorn (Abb.

14, Taf. 1) ist wegen der Verkürzung der Gletscherfläche nach Norden hin ungünstig, weil dann im oberen Teil die Ogiven nicht zu trennen sind. Die Aussicht vom Strahlhorn ist wegen des zu steilen Schwinkels nicht günstig. Ebenso sind alle Einblicke aus anderen Himmelsrichtungen nicht so lohnend, wie die aus dem Osten. Aber auch am Herbrigsgrat ist nicht jede Stunde gleich günstig. Nach 4 $\frac{1}{2}$  Uhr und vor 11 Uhr verschwinden die Ogiven, die Zeit ihrer besten Sichtbarkeit liegt um 1 Uhr herum, wechselt aber je nach der Bewölkung. Je stärker die diffuse Strahlung im Verhältnis zur direkten, um so besser.

Unter den günstigsten Verhältnissen konnte man vom Herbrigsgrat aus am Aletsch im Sommer 1935 fünf verschiedene Systeme von Ogiven nebeneinander den Gletscher hinabführen sehen. Wie dies etwa aussieht, kann der Abb. 14, die nach einer käuflichen Photographie von G a b e r e l l hergestellt ist, entnommen werden. Es muß jedoch gesagt sein, daß dieser Erscheinung gegenüber das Auge stets viel mehr zeigen kann als die beste Photographie und daß deshalb die Photographie immer nur ein grober Anhaltspunkt ist, der durch genaue Zeichnung der Ogiven zu ergänzen ist.

Die Aufnahme stammt vom Sommer 1923. Damals waren die Ogiven bis fast zum Märjelensee herab zu sehen und deshalb die Aussicht vom Eggishorn in dieser Hinsicht günstiger als 1935, wo die Ogiven sich viel weiter oben bereits verloren. Man erkennt nahe der linken Seitenmoräne des Gletschers einen fast texturlosen Streifen, an den gegen die Gletschermitte zu halbe Ogivenbögen sichtbar werden. Es ist jedoch mehr eine allgemeine Schummerung in bestimmter Richtung zu sehen als deutlich getrennte Ogiven. Dieses Ogivenfeld liegt auf dem Ewigschneeteil der Aletschzunge. Dann folgt wieder ein Längsstreifen, der lediglich Texturen parallel zur Bewegungsrichtung des Gletschers zeigt, dann erscheint im Jungfrau-Firnteil in regelmäßigen Abständen eine Reihe dunkler Flecken, die, wenn man von der Verkürzung absieht, spitzbogige Ogiven darstellen. Abb. 31 zeigt diese Ogivenreihe von der Seite gesehen (1935, vom Schönbühlgletscher aus). Man erkennt vorne (gletscherabwärts) den Ogivenscheitel, nach rückwärts, wie die Äste einer Parabel auslaufend, die beiden Ogivenhörner, die ein helles Gletscherstück einschließen und seitwärts an schwach längsstreifiges Eis anschließen. Nun schließt sich in



Abb. 31 gegen die Gletschermitte zu ein punktierter Streifen an, den man für ein Stück Mittelmoräne halten könnte, der jedoch gerade durch die Lückigkeit und durch Einsicht aus anderen Richtungen sich ebenfalls als eine Serie von äußerst schmalen Ogiven herausstellt. Da sie dem Gletscherteil, der vom Rottalhorn herabzieht, entsprechen, nennen wir sie Rottalhornogiven. Dann kommt die große Mittelmoräne zwischen Rottalhornteil und Kranzbergteil des Gletschers. Auch dieser letztere Teil zeigt schwache, schmale Ogiven. Nun folgt ein Streifen sehr helles Eis und schließlich — schon nahe der rechten Seitenmoräne — eine gleichmäßige Reihe breiter, schön ausgeschwungener Ogiven, die dem Aletschteil des Gletschers angehören. Ein Vergleich mehrerer Photographien aus dem Zeitraum zwischen 1920 und 1924 ergibt, daß damals etwa 8 Aletschogiven, 8 Rottalhornogiven, 14 Jungfrauogiven und etwa 9 halbe Ewigschneeogiven zu sehen waren. Alle vier Systeme reichten damals etwa bis zur 2440-m-Isohypse herab. 1935 reichten dieselben Systeme nur mehr bis zur 2460-m-Isohypse, 1903 dagegen bis 2400 m herab. Der Vergleich zahlreicher Photographien ergibt, daß in den einzelnen Jahren Schwankungen auftreten, daß aber ganz allgemein die Ogivenfelder im Zurückweichen sind.

Auch die topographischen Karten aus verschiedenen Jahren sind, soweit sie Ogiveneinzeichnungen tragen, Dokumente für den Wechsel der Ogivenzeichnung im Lauf der Zeit. Meines Wissens zeigt zum erstenmal die Siegfriedkarte Nr. 493 aus dem Jahre 1882 auf der Zunge des Aletsch Ogiven. Diese Einzeichnung wurde ohne Veränderung in die nachgeführte Karte des Jahres 1922 (Abb. 25, 1 und Abb. 13) übertragen. Von den fünf Ogivenserien ist die der Aletschogiven am besten ausgebildet. Ewigschneeogiven sind nur halb da, Jungfrauogiven nur im untersten Teil, wo bald aus dem einen System zwei neue hervorgehen (siehe S. 84). Im Jahre 1935 wurde durch Beobachtung des Verfassers bei besonders günstigen Verhältnissen das Bild, das Abb. 25, 3 bietet, festgestellt. Alle Ogivensysteme beginnen etwas weiter gletscherwärts. Die Aletschogiven laufen nach unten zu in ein vierfaches Ogivensystem aus und reichen nicht mehr so weit zum Konkordiaplatz wie in der Karte von 1922. Dafür konnten die Jungfrauogiven bis über den Konkordiaplatz hinauf verfolgt werden. Ihr unterer Auslauf in zwei Systeme ist derselbe wie früher.



Die Ewigschneeogiven beginnen wie früher mit halben Bögen, die dann allmählich in ganze übergehen und die in lückenloser Folge bis hinauf zu den Ewigschneeogiven beim Grüneck, die 1922 nicht in Verbindung mit den unteren Texturen waren, führen. Die hier eingezeichneten Ogiven waren jedoch nicht an einem Tag von einem Punkte aus gleichzeitig zu sehen, sondern aus zeitlich und

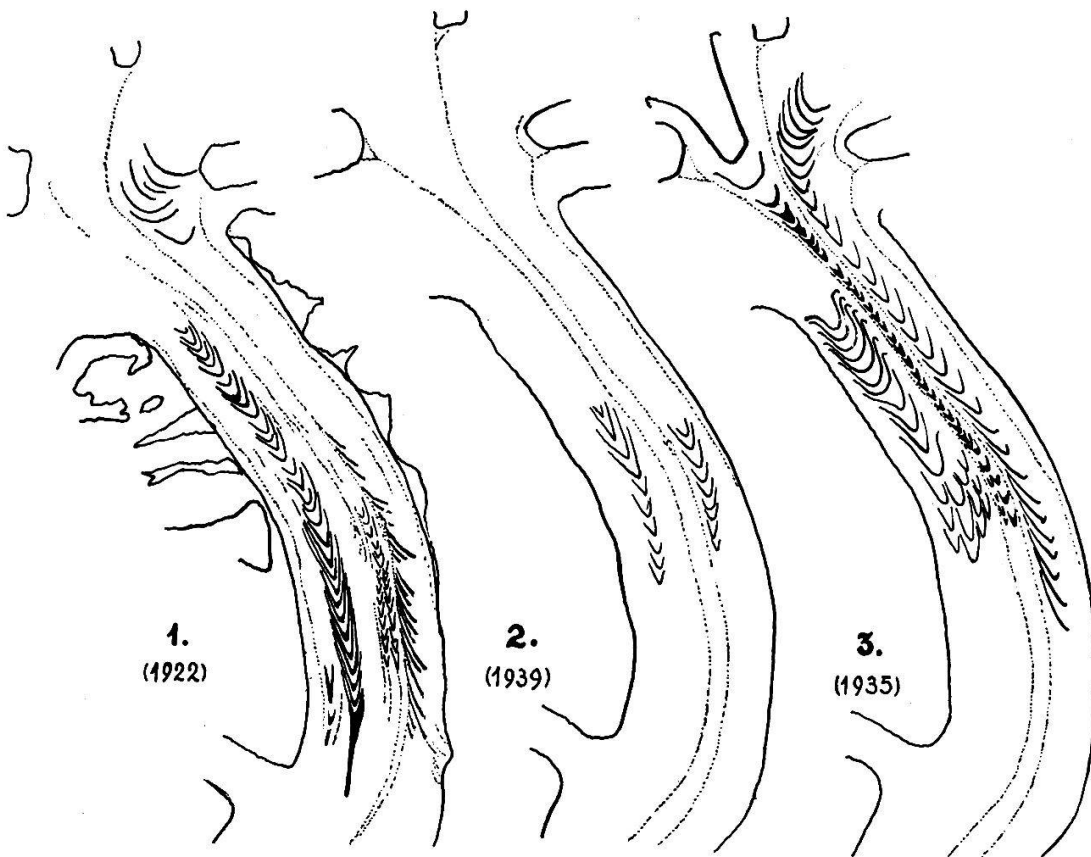


Abb. 25. Verschiedenes Erscheinungsbild der Ogivensysteme in den Jahren 1922, 1935 und 1939.

örtlich besonders günstigen Beobachtungen zusammengestellt. Dieser Karte gegenüber wirkt die neueste vom Jahre 1939, die nur 10 Aletschogiven und 9 Ewigschneeogiven zeigt (Abb. 25, 2) und der alle anderen Systeme fehlen, arm an Einzeichnungen. Ob hier zur Zeit der Neuaufnahme durch Neuschnee die Strukturen überdeckt waren, oder ob der Zeichner der Karte aus irgendeinem Grunde diese Eintragungen als unwichtig vereinfachte, entzieht sich meiner Kenntnis.

Durch Signalisierung wurden nun die wichtigsten Ogiven 1935 auf dem Eis markiert und vermessen. Dabei zeigte sich, daß doch bestimmte Oberflächeneigenheiten das Vorhandensein der Ogiven

auch in der Nähe erkennen lassen, wenn man nur eine erste Orientierung über ihre Lage durch Signale erhalten hat. Da solche Beobachtungen bisher nicht gemacht wurden und für das Verständnis der Textur wesentlich sind, soll an Hand der Abb. 26 bis 28 versucht werden, folgende Eigenheiten der Ogivenfelder festzustellen:

1. Bei ausgeprägten Ogiven ist der Verlauf manchmal von nur wenigen Meter hohen Erhebungen aus (Moräne, Eishügel) auch aus der Nähe zu erkennen. 2. Der dunkle Teil ist ein meist schwach gewölbter Boden aus grobkörnigem schmutzigem, wasserreichem Eis. 3. Vom Scheitel gegen die Hörner zu nimmt die Deutlichkeit ab, es kommen auch immer mehr Unebenheiten und helle Buckel dazu. 4. Das Gletscherstück zwischen den Hörnern besteht aus unregelmäßig gebuckeltem Eis; die Buckel sind oft (Abb. 28) über meterhoch. An heißen Tagen sind weder in dieser hellen Buckelzone noch im Scheitelteil der Ogive größere Schmelzbäche entwickelt. Die starke Quergliederung dieser Teile ist für größere Schmelzwasserrinnen ungünstig, obwohl besonders der Scheitelteil, als deutlich tiefer liegend, den Zustrom von Wasser begünstigen müßte. Außerhalb der Ogivenhörner geht die buckelige Struktur der Oberfläche immer mehr in jene der sogenannten Pflugfurchen über. Hier ist das Eis hell, die Schmelzwasserrinnen tief und schmutzführend, jedoch im ganzen höher gelegen als die Scheitelzone (Abb. 27, 6). Die einzelnen Pflugfurchen sind meterhoch, oft übermannshoch, nehmen jedoch von den Ogivenhörnern gegen den Gletscherrand bzw. gegen die nächste Mittelmoräne zu langsam an Höhe ab und an Zahl zu. Die Schmelzwasser nehmen dementsprechend ebenfalls an Mächtigkeit ab und an Zahl zu. Hier finden sie an jeder irgendwie störenden Querwelle sogleich eine neue Längsrinne, die in Richtung des Gletscherfließens nach unten führt. Das Querprofil (Abb. 43) und die Abbildungen 26 bis 28 geben ein klares Bild dieser Verhältnisse, die überall wiedergefunden wurden, wo im Zungenteil von Gletschern ältere Ogivenfelder festgestellt wurden.

Eine Reihe von Gletschererscheinungen begleiten diesen Wechsel der Oberflächenstruktur vom Ogivenfeld zur nächsten Moräne. Wo Spalten Einsicht in den Bau des Gletscherinnern geben, kann beobachtet werden, daß im Ogivenfeld die Blaublätter schwach ausgebildet sind, das Eis mehr blockig bricht, während die Blät-

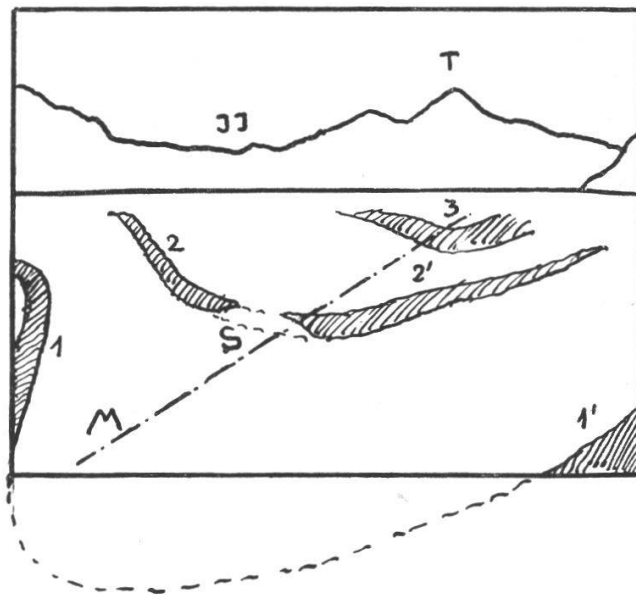


Abb. 26. Beweis für die Sichtbarkeit der Ogiven aus der Nähe. Aletschteil, Ausblick gletscheraufwärts auf Trugberg T und Jungfrauoch JJ. Standort: Im hellen niederen Buckeleis zwischen den nur teilweise sichtbaren Hörnern 1 und 1' einer weitausgeschwungenen Ogive. Bei 1 oben = Hakenbildung. Durch das nahe Buckeleis zwischen dieser und der nächsten Ogive ist der Scheitel S derselben etwas verdeckt, die Hörner 2 und 2' jedoch sind sichtbar. Ogive 3 schon stark verkürzt. M = Richtung der Achse des Ogivensystems.

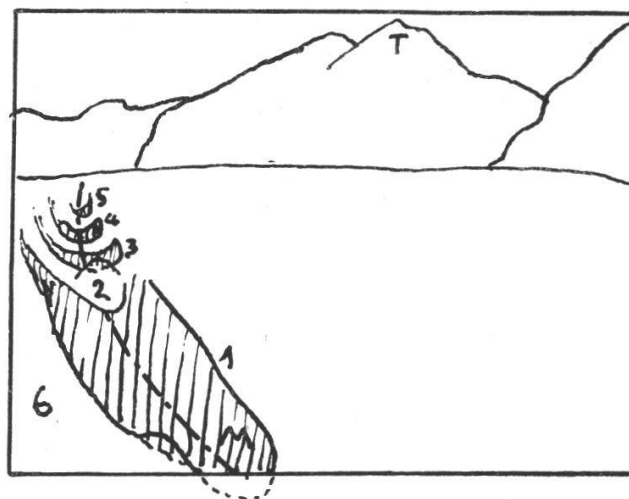


Abb.27: Sichtbarkeit der Ogiven aus der Nähe. Jungfrauteil, Ausblick gietscheraufwärts auf Trugberg T. Standort: westlich des Scheitels der Ogive 1. Bei 2: Buckeleis zwischen Ogive 1 und 3, wie bei Abb. 26 den Scheitel der nächstoberen Ogive 3 verdeckend. 4, 5 weitere schwach sichtbare Ogiven. Im Ogivenfeld 1 erkennt man die fast schwarze, gewölbte Eisoberfläche, die nur durch wenige, helle Buckel unterbrochen ist. Form der Ogiven schmal, spitzbogig. Bei 6 buckeliges, helles Eis, im Durchschnitt höher als die eigentliche Ogivenfläche. (Vergl. auch Abb. 25/3 und Abb. 31).

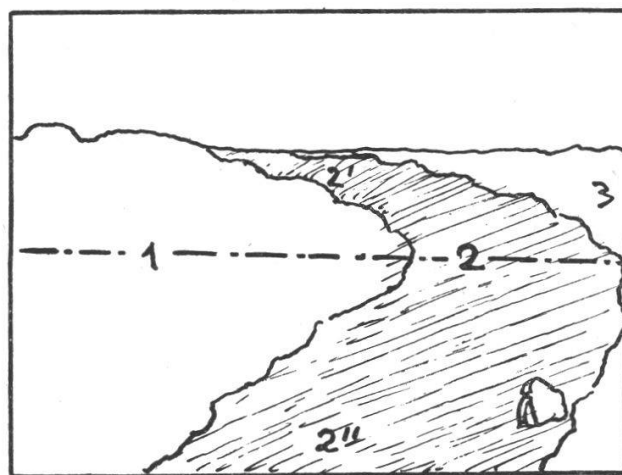


Abb. 28. Sichtbarkeit der Ogiven aus der Nähe. Ewigschneeteil, Ausblick vom Gletscher nach Osten gegen die linke Seitenmoräne. Standpunkt: Im westlichen Horn der Ogive 2 2' 2''. Bei 1 und 3 mächtiges helles Buckeleis mit starkem Relief, das ganz andere Schmelzerscheinungen zeigt als das dunklere, nicht so stark blockige Eis der Ogive.



terung nach der Moräne zu immer enger und enger wird und, wie die Abb. 29 der Wand einer Ponore zeigt, schließlich dicht an der Moräne nur mehr in Zwischenräumen von wenigen Zentimetern auftritt. Dabei ändert sich auch der Winkel, in dem die



Abb. 29. Ponore nahe der Mittelmoräne. Senkrechter Schacht, in den Schmelzwasser abfließen. Die schmalen, beinahe senkrechten Blaulätter und ihr Ausstreichen als vorspringende Kanten und Rillen an der Gletscheroberfläche.

Blätterung gegen die Mitte des Teilgletschers zu einfällt. Während die Blätter nahe der Mittelmoräne fast senkrecht nach unten führen, streichen sie gegen die Mitte der Ogivenfelder zu in flacherem Winkel ein, wie durch die in die Tiefe führenden Striche des Profils Abb. 43 angedeutet ist. In der Mittellinie der Ogivenreihen selbst konnten Blaulätter mit Sicherheit nie in bestimmter Regelmäßigkeit aufgefunden werden.



Das normale Bild der Ogiven wäre somit im Überblick aus großer Höhe und aus nächster Nähe gegeben. Ich muß nun noch einige unregelmäßige Erscheinungen anführen, die theoretisch von großer Bedeutung sein können. An den Aletschogiven und gelegentlich auch an anderen wurde wiederholt am Ende des

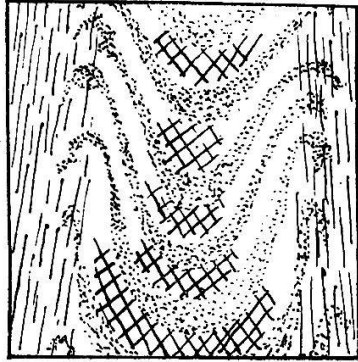


Abb. 30. Hakenogiven im Aletschteil. Punktiert = Ogiven; gekreuzte Striche = helles Blockeis; parallele Striche = Pflugschareis.

Horns eine merkwürdige Umbiegung festgestellt, die auf den offiziellen Karten nirgends eingezeichnet ist, die aber durch viele Photographien auch aus früheren Jahren bestätigt ist. Es entstehen dann Ogivenformen, wie sie Abb. 30 zeigt. Diese Verzerrung der Hornenden tritt sowohl gegen die Seitenmoräne hin, als auch gegen eine der Mittelmoränen hin auf. Ein weiterer Sonderfall ist die Deformation der Ogiven des Jungfraufirns beim Eintritt in den Konkordiaplatz. Am 21. 8. 1935 war durch ständige Ausschmelzung die Firngrenze offenbar über die Höhe des Konkordiaplatzes hinaus zurückgewichen. So konnte man noch in über 2800 m Höhe gegen 14 h eine oberste Ogive unterscheiden, die alle unteren an Größe und Weite des Ausschwungs übertraf und die seitlichen Verzerrungen der Hörner ebenfalls zeigte. Zwischen ihr und der ersten stark eingeengten Ogive lagen nur zwei, die den starken Formwechsel von der weitgeschwungenen, mehr linearen Erscheinung zum engspitzbogig-flächigen Gebilde vermittelten (vgl. Abb. 25, 3). Schließlich ist noch der merkwürdigen Anomalie des untersten Ogivenauslaufs, den die Siegfriedkarte bei Punkt 2426 (vgl. Abb. 13) zeigt, zu gedenken. Dort ist die zunächst regelmäßige Form nach unten hin leicht verzerrt, eine Erscheinung, die gelegentlich an anderen tiefgelegenen Ogiven auch von mir beobachtet werden konnte. Unterhalb des Punktes

2426 zeigt die Karte dann ein Auslaufen der Ogive nicht in Richtung des strömenden Eises, also nicht parallel den Mittelmoränen, sondern im spitzen Winkel dazu. Diese Textur konnte ich außer auf der Karte, weder auf gleichzeitig entstandenen Photographien, an irgendeiner anderen Stelle des Gletschers je wieder feststellen. Sie zu erklären, dürfte schwer fallen. Im übrigen werden wir mit der Erklärung all dieser Erscheinungen erst Erfolg haben, wenn wir über die Natur der Ogiven im klaren sind. Dazu soll uns wiederum die Pollenanalyse verhelfen.

### **17. Oberflächenprofil median durch eine Serie von fünf Ogiven des Jungfrauteils.**

Der erste Versuch, über die aspektstratigraphische Charakteristik von Ogivenreihen ins klare zu kommen, galt einer Reihe von fünf Ogiven des Jungfraufirnteils des Großen Aletsch. Es handelt sich um jene Serie von Ogiven, die vom Schönbühlgletscher aus aufgenommen, auf Abb. 31 dargestellt ist, um jenes Gletscherstück, das zwischen der Trugberg- und der Kranzbergmoräne etwa im oberen Drittel der Zunge liegt. Die Lage der einzelnen Ogiven, Oberflächenstruktur, die Stellen, an denen die Proben entnommen wurden, sowie die größten Spalten wurden vermessen und in unserer Abb. 32 im Maßstab 1 : 5000 dargestellt. Um einen Begriff davon zu geben, wie sich das Bild der Reihe aus nächster Nähe ausnimmt, verweise ich auf Abb. 27, auf der man mit Blickrichtung gletscherwärts, in der Buckelzone zwischen den Punkten 192 und 193 stehend, auf den Scheitel der vierten Ogive schaut, die hier aus der Nähe aus einem Gewirr dunkler Flecke zu bestehen scheint, deren Regelmäßigkeit besonders durch einzelne helle Eisbuckel gestört ist. Diese vierte Ogive reicht noch ein Stück hinter der stehenden Person hinauf, dann erkennt man deutlich gletscheraufwärts, im rhythmischen Wechsel von Hell und Dunkel, die nächsten drei Ogiven. Aus unserem Plan geht hervor, daß die Ausdehnung der Ogiven hier schon riesige Ausmaße gewonnen hat. Einzelne erreichen eine Länge von über 200 m und eine Breite von etwa 80 m. Der Abstand zwischen ihnen ist nicht so gleichmäßig, wie er ohne genaue Vermessung erscheint. Er wechselt zwischen etwa 280 und 150 m. Diese Zwischenzonen sind von groben, hellen Eisbuckeln ausgefüllt. An den Flanken der Ogiven gehen diese Buckel allmählich in immer

längere Rippen über, die sich schließlich gegen die Moränen zu in regelrechtes Pflugfurcheneis verwandeln. Zwischen der Reihe der Jungfrauogiven und der Kranzbergmoräne erscheint noch eine Reihe schwach rhythmisch wechselnder Flecken, die seitlich scharf begrenzt, gletscherabwärts sich immer deutlicher abheben und die ersten Anzeichen der dort auftauchenden Ogiven vom Rottalhorn sind.

In der medianen Verbindungslinie der Ogivenserie wurden nun in unregelmäßigen Abständen Punkte einsignalisiert und dort dann Eisproben entnommen. Da die Ogiven, wie Abb. 31 zeigt, von unserem Signalgipfel aus sehr schmal erschienen, war es außerordentlich schwierig, von oben den Standort dieser Punkte wirklich genau zu fixieren.

Ganz allgemein fiel die große Pollenarmut auf, die, wie sich später herausstellte, den ganzen Jungfraufirn, gegenüber den anderen Gletscherteilen unvorteilhaft auszeichnet. Nach unseren Erfahrungen haben wir in Probe 185 eine Winterschicht vor uns. Im dunkelsten Teile der ersten Ogive findet sich eine Herbstschicht. Die drei einzelnen Weidenpollen der Probe 187 sind schwer zu deuten, um so mehr als alle anderen Pollen fehlen. Handelt es sich um im Winter noch übriggebliebene Restpollen oder um Blütenstaub, den ein Insekt, das auf den Gletscher fiel, verlor? Die absolute Pollenarmut scheint für den Winter zu sprechen, es kommen jedoch pollenlose Perioden auch im Sommer vor. Die Probe 189 stammt vom Scheitel der zweiten Ogive. Die große Zahl von Erlen- und Föhrenpollen deutet auf den Frühling hin, dem aber bereits einige Sommerpollen beigemischt sind. Gleich daneben fanden sich in Probe 190 nur wenige Fichtenpollen. Da hier die während des Jahres häufigsten Pollen fehlen, darf man dieses Eis nicht ohne weiteres mit einem Herbstaspekt in Beziehung bringen. Eher scheint sich hier eine pollenarme Weterschicht aus der Fichtenblütezeit, also eine sommerliche Schicht, zu dokumentieren. Die nächste Probe zeigt deutlich den Herbstaspekt mit häufigen Resten von Sommerpollen. Sie liegt am Innenrand der zweiten Ogive. Ähnliches wiederholt sich bei der nächsten Ogive: Gegen die Spitze zu haben wir Frühlings- und Sommeraspekt gemischt, gegen die «Ogivenkehle» zu einen Herbstaspekt. Bei der vierten Ogive ist jedoch an der der Probe 192 entsprechenden Stelle nicht Herbst-, sondern bereits Winteraspekt. Und

bei der fünften Ogive, nur wenig gletscherabwärts verschoben, wiederum Herbstaspekt. Die letzte Probe 195, mitten im Buckel-eis zwischen zwei Ogiven entnommen, zeigt deutlichen Winteraspekt.

Trotz der erwähnten Ungleichmäßigkeiten lassen sich doch schon einige Gesetzmäßigkeiten in diesem ersten Profil erkennen.



Abb. 31. Jungfrauogive vom Schönbühlgletscher aus gesehen. D = Felsenrücken «beim dritten Dreieck». Die auf der Photographie nur schwach sichtbaren Ogiven sind hier durch Retouche hervorgehoben.

Die dunklen Stellen zeigen im allgemeinen Sommer-, Frühlings- und Herbstaspekt, sind jedoch auch einige Male fast pollenlos betroffen worden. Die hellen Stellen zwischen den Ogiven enthalten überall eindeutig Winterschichten. Besonders interessant ist die Reihenfolge der aspektstratigraphischen Schichtung, die sich in Umrissen schon in diesem Profil erkennen läßt: Die Jahreszeiten folgen einander, bezogen auf die Strömungsrichtung des Gletschers, in umgekehrter Reihenfolge. Auf eine Winterschicht folgt in der Strömungs-

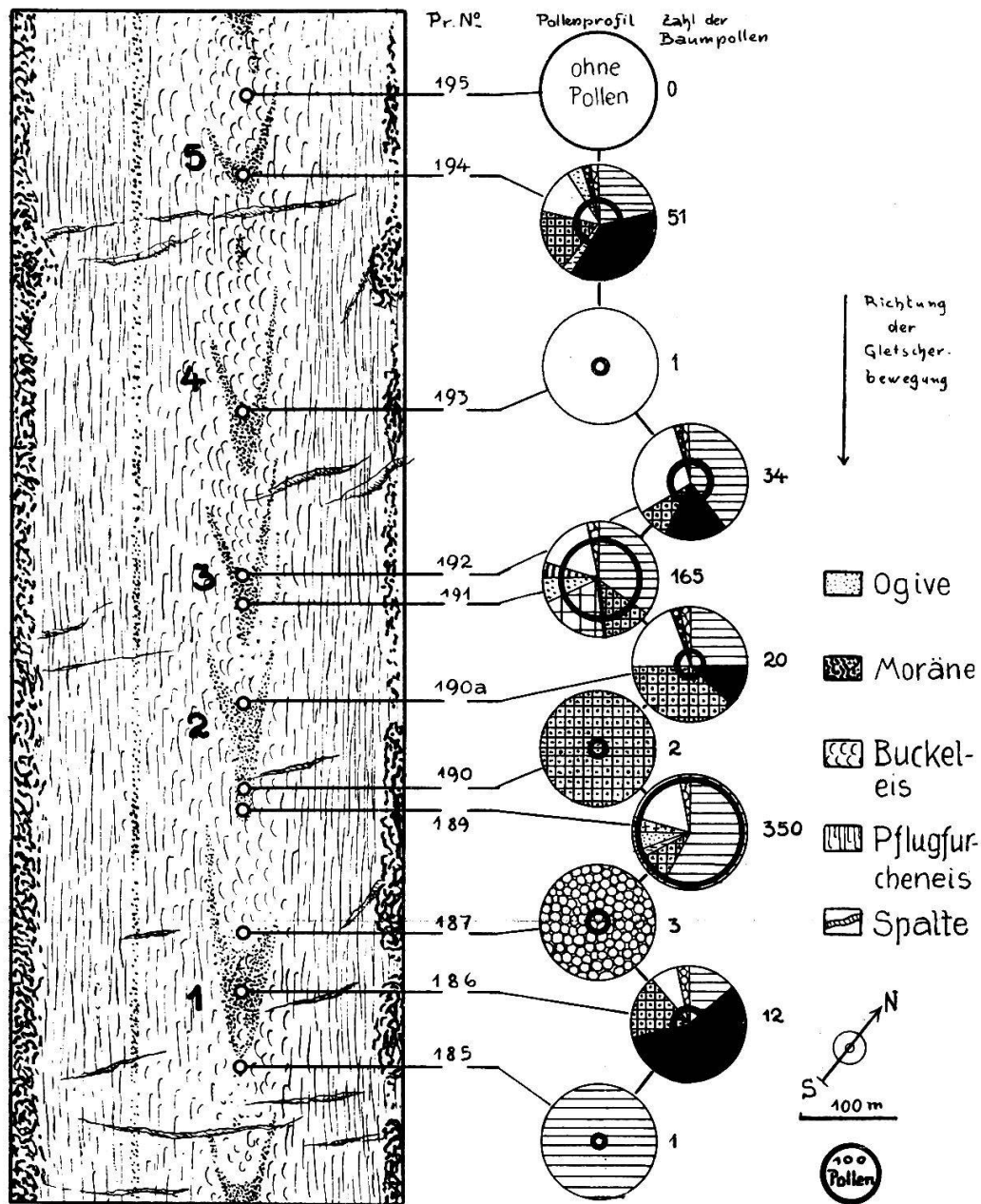


Abb. 32. Karte der Oberflächenerscheinungen eines Abschnittes des Jungfrauanteils mit zugehörigen Pollendiagrammen. Erklärung der übrigen Signaturen s. Abb. 56.

richtung gletscherabwärts eine Herbstschicht, dann Sommer, Frühling und wieder Winter usw.

Bevor wir diesen pollenanalytischen Befund, der sich nur auf Proben aus der Gegend der Achse des Ogivensystems bezieht, zu deuten versuchen, ist es nötig, sich auch über den aspektstratigraphischen Charakter der Ogivenhörner zu unterrichten. Gleichzeitig hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, zur Bearbeitung



zunächst eine weiter ausgeschwungene, vom Signalgipfel aus topographisch besser zu übersehende Ogivenreihe zu wählen. Diese fand sich etwas höher oben am Gletscher im Bereich des Ewigschneefeldteils.

### 18. Aspektstratigraphisches Bild einer Ogive des Ewigschneeteils.

Die Ogivenreihen des Ewigschneeteils sind vom äußern Schönbühl aus abwärts nur mehr zur Hälfte zu sehen. Darüber jedoch, bis zum Konkordiaplatz, deutlich mit beiden Schenkeln als weit-hingeschwungene Bögen, ohne die spitzbogige Pressung der Jungfrauogiven, entwickelt. Eine photographische Wiedergabe der Einsicht vom Herbrigsgrat war nicht möglich. Die Aufnahmen, mit den verschiedensten Filtern und Belichtungszeiten gemacht, zeigen die mit freiem Auge eben noch erkennbare Erscheinung für die Reproduktion leider zu undeutlich. Daher sind in Abb. 33 die Ogiven nachträglich — den schwachen sichtbaren Spuren folgend — eingezeichnet. Dagegen war es möglich, als die einzelnen Punkte einmal einsignalisiert waren, das Erscheinungsbild aus der Nähe festzuhalten. Abb. 28 zeigt eine Ogive (Nr. 7. Siehe unten!) von der Seite.



Abb. 33. Ogiven des Ewigschneeteils vom Herbrigsgrat aus gesehen.  
Ogiven durch Retouche etwas hervorgehoben.



Diesmal begnügte ich mich nicht mit einem medianen Durchschnitt, sondern verteilte die Proben auf die ganze Fläche der einen Hälfte der Ogive und ergänzte sie durch zwei Stichproben der andern Hälfte. Dabei wurde der Scheitel der nächst höheren Ogive berührt. Das Resultat der Vermessung und der Analysen zeigt Abb. 34.

Das Erscheinungsbild ist ähnlich dem der Jungfrauogiven. Nur ist hier die Ogive weiter ausgeschwungen und die Gletscherober-

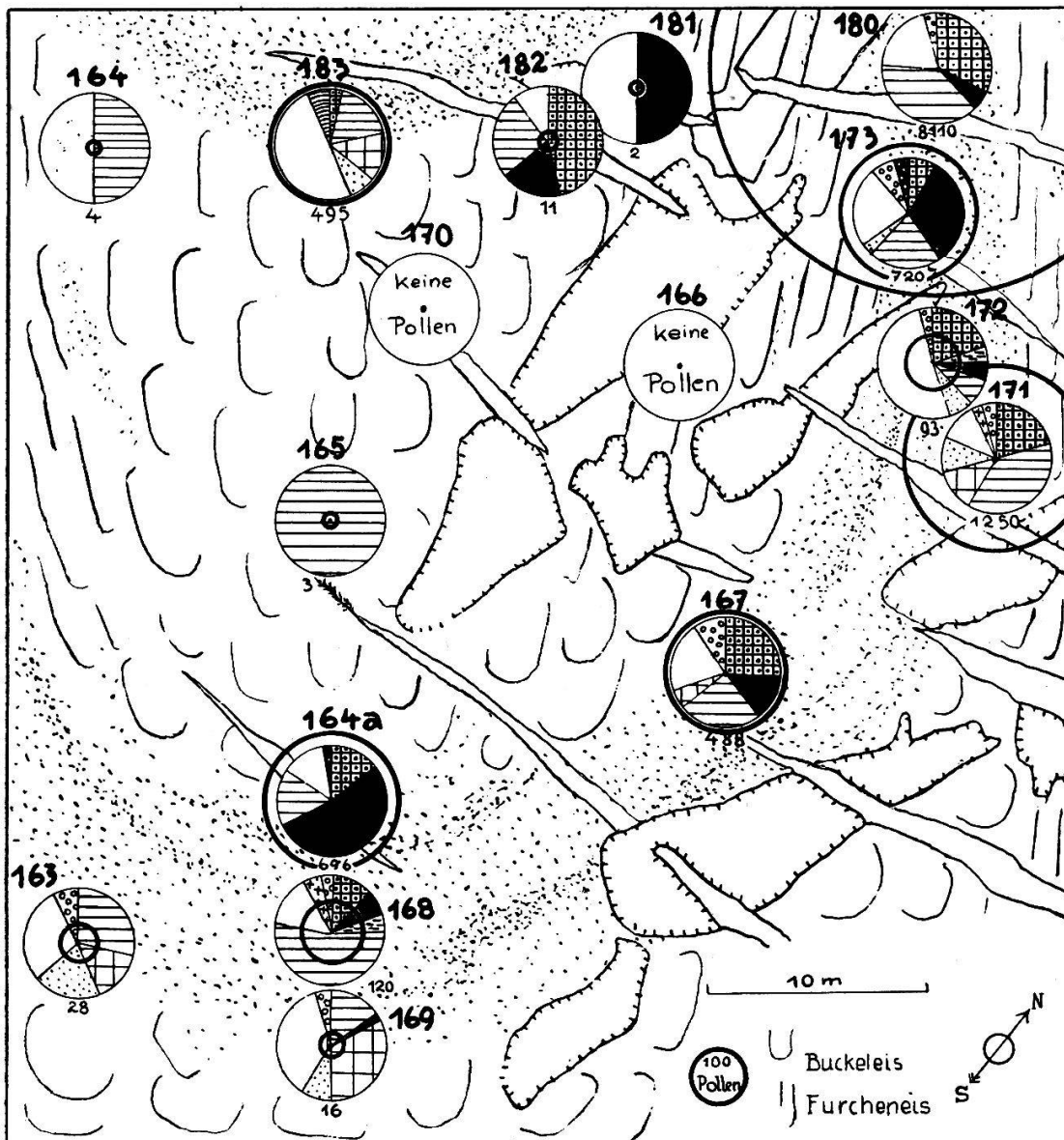


Abb. 34. Karte der Oberflächenerscheinungen eines Ausschnitts des Ewigschneeteils, mit Diagrammen aus dem Ogivengebiet. Punktiert = der dunkle Teil der Ogiven; Zahnlinie = Grenzen der Schneeflecken; ausgezogene Linie = Spalten. Erklärung der übrigen Signaturen s. Abb. 56.

fläche durch Spaltenzüge und Schneeflächen unterbrochen. Ein Überblick über die Pollenanalysen zeigt, daß der Profilcharakter, der in der Mediane der Jungfrauogiven angedeutet war, auch bei seitlicher Verschiebung gegen die Ogivenhörner zu erhalten bleibt. Wir können also die einzelnen Proben nach ihrer Lage zur Ogive in Gruppen fassen und diese Gruppen gemeinsam besprechen.

Zunächst der Vorderrand der Ogive. Hier zeigt Probe 163 den reinsten Aspekt, der ohne jede Beimischung von Sommerpollen den späteren Frühling (im Vorfrühling müßten mehr *Corylus*-pollen zu finden sein) andeutet. An der Spitze der Ogive liegt Probe 169. Hier herrscht ebenfalls typischer Frühlingsaspekt, und zwar eine etwas frühere Phase als bei 163; denn hier gibt es mehr *Corylus*-, weniger *Pinus silvestris*- und überhaupt weniger Pollen als in 163. Eine merkwürdige Störung findet sich jedoch hier. Ein vereinzelter Zirbenpollen wurde gefunden. Das legt die Vermutung nahe, daß bei dieser Probe dem Frühlingseis etwas Winterseis beigemischt war, das, wie wir später erfahren werden, ursprünglich darüber gelagert war und irgendwie dann von oben nach unten gedrungen ist. Als letzte Probe dieser Zone der Ogive gehört 171 hierher. Hier fällt die große absolute Pollenmenge (1250) auf. Der Aspekt ist Frühling mit einigen Sommerpollen. Schließlich kommt noch Probe 183, die an der entsprechenden Stelle der nächstoberen Ogive entnommen ist. Wiederum ein deutlicher Frühlingsaspekt mit ganz wenigen Sommerpollen. Es entsteht also der Eindruck, der gesamte Vorderrand («vorne» bezieht sich immer auf die im Sinne der Gletscherbewegung vorangehende Partie einer Gletschertextur) der Ogive bestehe aus Frühjahrs- und Frühlingseis, dem unter Umständen etwas Spätpollen des Vorjahres (169) oder einige Pollen der Folgezeit (171, 183) beigemischt sind.

Die Proben 167, 168, 172 und 180 stammen vom inneren, dunkelsten Teil des Bogenstreifens. Die absolute Pollenzahl pro Kubikdezimeter Eis ist gegenüber dem Vorderrand gestiegen. Es kommen neben den Frühlingspollen deutlich die Sommerpollen zur Herrschaft. Als Vorboten des Herbstaspektes treten fast gleichmäßig in allen Proben einige Prozente mit Zirbenpollen auf. Von den Frühlingspollen fehlt *Corylus* oder ist (167) schon stark zurückgetreten, während *Alnus* noch ziemlich zahlreich ist (*Alnus viridis*? vgl. S. 64). Als Ganzes ist der analoge Aspekt der vier,

Dutzende von Meter voneinander entfernten Proben gerade hier ungemein deutlich. Der Frühlingssschicht, die außen die Ogive umkleidet, folgt in ihrem Inneren eine Sommerschicht.

Nun folgt der Rand der Ogive gegen die Hohlkehle zu. Probe 164a und 173 geben hier Auskunft. Die Frühlingspollen sind nur mehr in Spuren vorhanden, die Sommerpollen reichlicher. Beherrschend aber ist bei beiden Proben die Zirbe. Besonders bezeichnend ist das Vorkommen von Lindenpollen, der das Ende einer Pollonisationsperiode eines Jahres zu bezeichnen pflegt. Der Innenrand der Ogive bezeichnet also den Herbstaspekt.

In mehr als doppelter Breite als der staubreiche Teil der Ogive einnimmt, folgt nun gletscheraufwärts der staubarme, der durch Buckeleis ausgezeichnet ist. Die sechs dort verstreuten Proben enthalten zum Teil gar keine Pollen, zum Teil Spuren, im Maximum 11. Die während des Jahres häufigsten Pollen dominieren, auch die Zirbe, die als eine der letzten des Jahres zum Blühen kommt, ist vertreten. Nach allem Bisherigen ist zu erwarten, daß hier eine breite Winterschicht vorliegt, die pollen- und staubarm ist. Wir vermuten, daß, wenn die Proben anders verteilt gewesen wären, also etwa zwischen Probe 165 und 167 noch eine eingeschaltet gewesen wäre, daß dann eine etwas reichlichere Restpollenzahl den Übergang zwischen den pollenreichen Sommer- und Herbstaspekten und den fast pollenlosen Winteraspekten vermittelt hätten. Die Arbeit im Freien ist ja immer nur ein blindes Tasten. Oft würde man seine Proben etwas anders gewählt haben, wenn man gleich über den Aspektcharakter der übrigen schon Bescheid wüßte. Aber zwischen der Auswahl und der Entnahme der Proben und ihrer Analysen liegen ja oft Jahre und inzwischen ist die betreffende Eiszone unwiederbringlich talwärts geflossen und unkenntlich geworden.

Im ganzen stellen wir fest, daß hier die Resultate der Proben von der Jungfrauserie sich wiederholt haben, daß dagegen die bezeichnete Schichtung viel eindeutiger festzustellen war, was an der genaueren Einmessung der Probestellen, vielleicht aber auch an der ungestörteren Schichtfolge im Eise selbst begründet sein mag. Im Laufe der Untersuchungen am Aletsch wurden nach und nach alle überhaupt

feststellbaren Ogivensysteme auf ihren Aspektcharakter hin abgetastet, um festzustellen, wieweit das bisher Gewonnene Allgemeingültigkeit für den ganzen Aletsch beanspruchen kann. So wurde eindeutig sichergestellt, daß für alle Gletscherteilströme und alle Ogivensysteme dieselbe Gesetzmäßigkeit in der aspektstratigraphischen Charakterisierung gilt. Am stärksten verwischt waren die Resultate von den Rottalhornogiven, die ja auch schon der Erkennung und besonders dann der Einmessung große Schwierigkeiten machten. Dagegen waren die Ogiven des Aletschteils ebenso exakt einzumessen und ergaben ebenso eindeutige Resultate wie die des Ewigschneeteils. Eine Mitteilung der Befunde im einzelnen wäre nur eine Wiederholung des Gesagten. Die Befunde sind in meinen Protokollen festgelegt und würden für die Veröffentlichung dem Gesagten nichts Wesentliches hinzufügen können.

Das gesamte Feld der Ogiven ist also nichts anderes als eine Zone des Gletschers, in der die dem Jahreszuwachs entsprechenden ehemaligen Firnschichten austreichen. Es liegt nun nahe, zu prüfen, wie sich diese oberflächlich festgestellten Texturen ins Innere des Gletschers hinein fortsetzen. Zu diesem Zwecke wurde bei der Probe 164a (siehe Abb. 34) ein senkrechtes Profil von weiteren vier Proben entnommen. Eine Spaltenwand ergab den nötigen Aufschluß. In Abb. 35 sind die Resultate der Analysen eingetragen. Es zeigt sich, daß bereits in 1 m Tiefe ein ganz anderer Aspekt auftritt als an der Oberfläche. Die Föhren-, Erlen-, Birken- und Ulmuspollen deuten auf den Frühling hin. Die wenigen Fichtenpollen auf den Beginn des Sommers. Ein Blick auf die Abb. 34 zeigt, daß diejenige Oberflächenprobe, die dieser Spaltenprobe entspricht, in 11 m Entfernung von Probe 164a (Probe Nr. 169) zu suchen ist und daß die der Sommerschicht von Probe 168 entsprechende Schicht hier zwischen Probe 164a und 164b liegen müßte und in unserem Profil nicht getroffen wurde. Die unterbrochene Linie der Abb. 35 führt zur Stelle der Probe 169 hin und zeigt damit ungefähr die Neigung an, in der die den Ogiven entsprechenden Jahresschichten hier in den Gletscher einfallen. Freilich nur ungefähr, da eine auf den Meter genaue Zuordnung von senkrechten und Oberflächenproben natürlich bei der lediglich auf den allgemeinen Aspektcharakter angewiesenen Bearbeitung nicht möglich ist. Nach unten zu folgen nun zwei

fast pollenfreie Proben, die der Winterschicht, die der Ogive von Abb. 34 gletscherabwärts vorgelagert ist, entsprechen würden. Eine Bestimmung der Mächtigkeit der Jahresschichten in senkrechter Richtung war hier nicht möglich, da die Spalte sich nach unten zu sehr verengte und bei den entnommenen Proben noch keine der nächstfolgenden Sommerschicht dabei war.

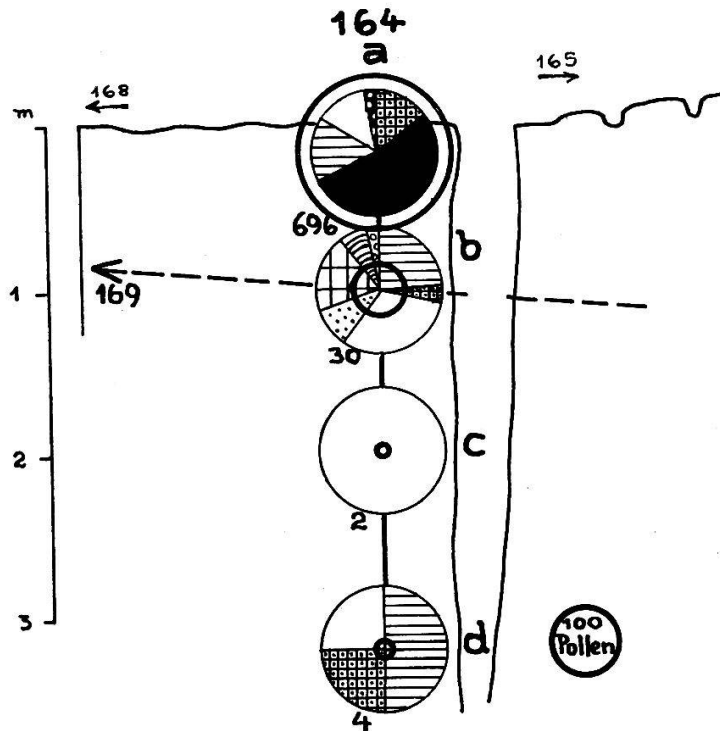


Abb. 35. Senkrechtes Profil unterhalb der Oberflächenprobe 164 a (siehe vorige Abb.) in der Medianebene einer Ewigschneefeldogive. Erklärung der Signaturen s. Abb. 56.

Auf ganz anderem Wege werden wir später noch auf dieses Einfallen der Jahresschichten zurückkommen. Hier stellen wir nur fest, daß

1. die Jahresaspekte in senkrechter Richtung in viel kürzerem Zwischenraum als an der Oberfläche folgen, daß also die Jahresschicht sehr flach in den Gletscher einfällt;
2. die Mächtigkeit der Jahresschicht in senkrechter Richtung nicht genau ermittelt werden konnte; sie liegt aber, wie ein Vergleich der Abb. 35 und 34 zeigt, jedenfalls bei etwas über 3 m. Da es sich bei der hier untersuchten Ogive um eine der größten überhaupt handelt, dürfte der Durch-



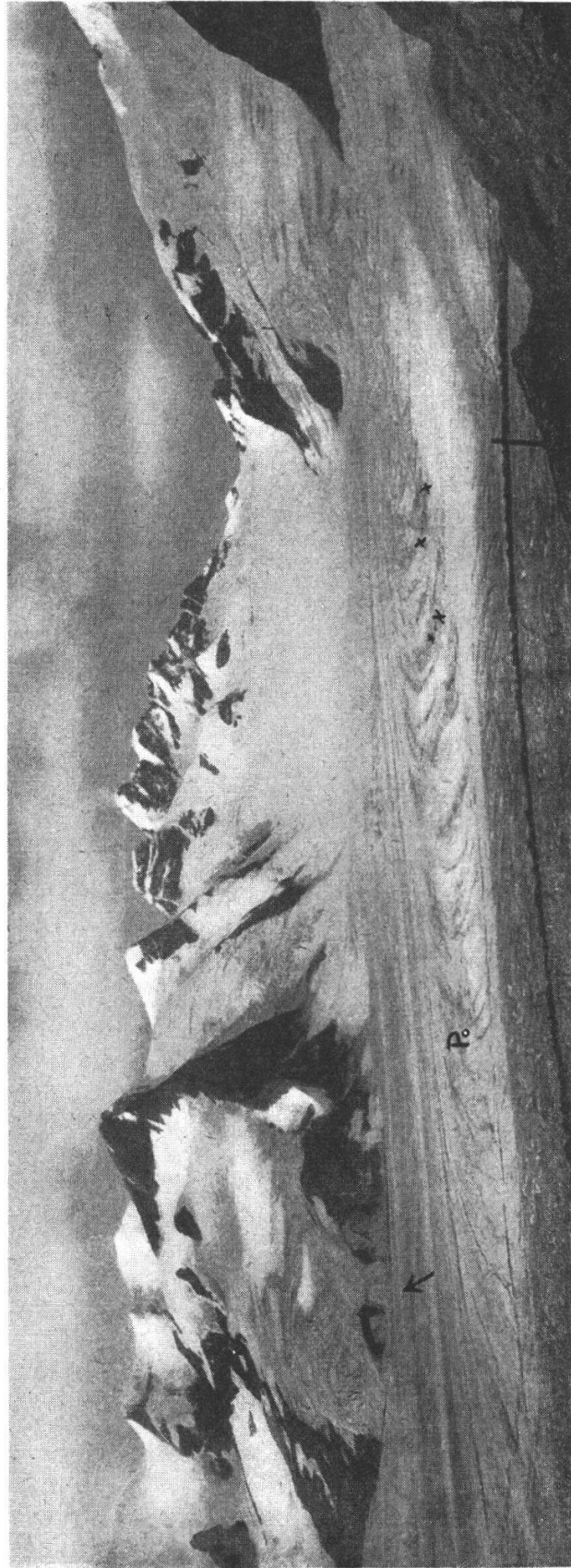


Abb. 36. Blick auf den Konkordiaplatz im Jahre 1895.



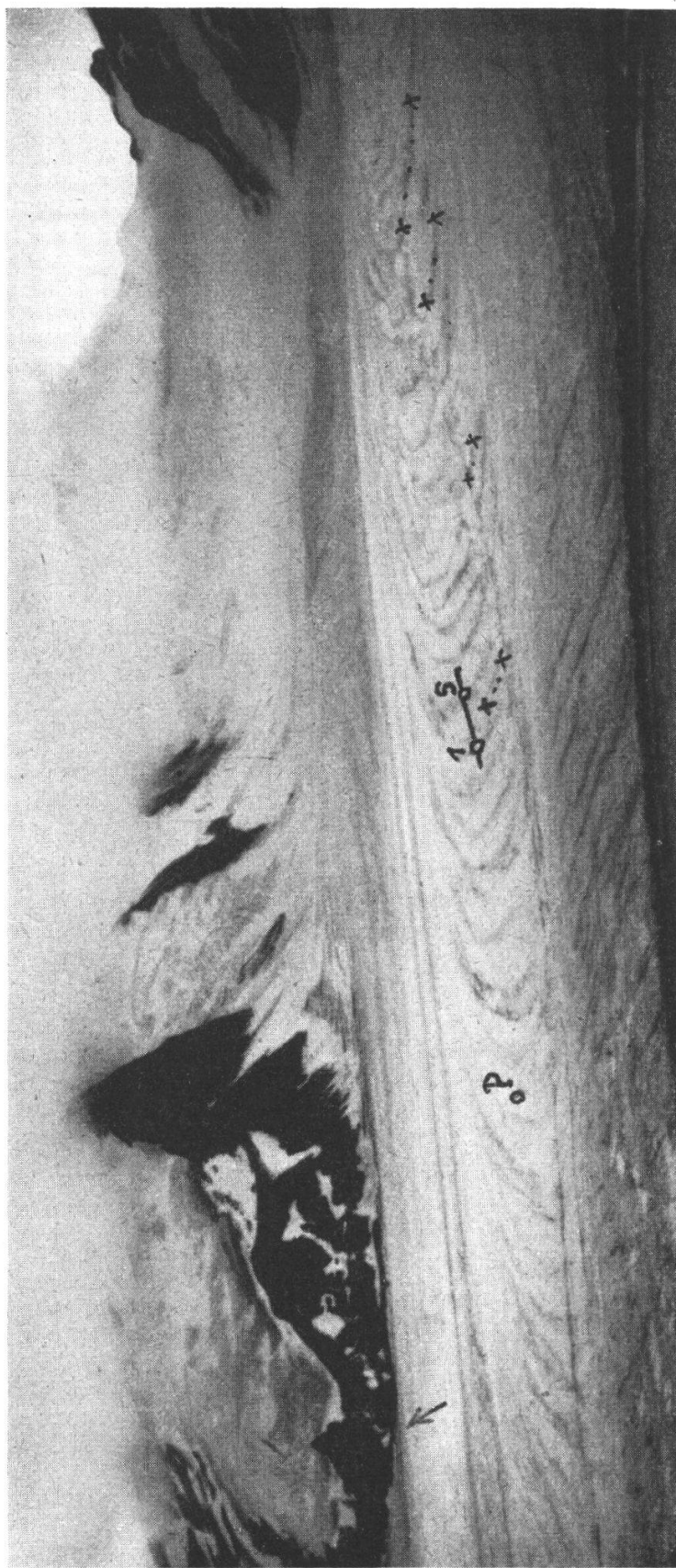


Abb. 37. Blick auf den Konkordiaplatz im Jahre 1935.

schnittswert der Jahresschichtenmächtigkeit des Ewigschneeteils etwas tiefer liegen.

### 19. Die Ogiven des Konkordiaplatzes.

Im Hinblick auf alle Einwände, die gegen eine Auffassung der Ogiven als Jahresschichten gemacht werden können, sind die Ogiven des Konkordiaplatzes von besonderer Bedeutung. Dort hat der Ewigschneeteil die deutlichste Zeichnung. Die Ogiven reichen quer über den größten Teil der Oberfläche des Teilstroms und liegen hier wirklich, wie die Anhänger eines genetischen Zusammenhanges zwischen Ogiven und Gletscherbruch stets voraussetzen, unterhalb jener schollenartigen Bruchzone, die S. 60 bereits beschrieben wurde. Der Teilstrom ist an dieser Stelle etwas hochgewölbt, so daß die Ogiven ziemlich genau den Isohypsen folgen. Gleichzeitig ist der Gletscher an dieser Stelle auch ganz besonders tief, wie durch die Messungen von Mothes erwiesen ist.

In diesem Zusammenhang ist es interessant, einmal die heutige Gestalt des Konkordiaplatzes mit dem Erscheinungsbild vor 40 Jahren zu vergleichen. Abb. 36 zeigt den Konkordiaplatz im Jahre 1895, Abb. 37 im Jahre 1935, zur Zeit der Bearbeitung der Ogiven. Beide Aufnahmen sind vom Westabhang des Faulberges aus gemacht. Der allgemeine Rückgang des Eises macht sich vor allem an dem vom Kranzberg niedergehenden Seitengletscher (Pfeil!) bemerkbar. Dort teilt auf beiden Bildern ein Felsriegel die Massen des Hängegletschers in zwei Teile, die 1895 noch beide den Aletschgletscher erreichten, 1935 jedoch beide von ihm getrennt sind. Diese Trennung beruht jedoch, wie man aus der Lage des Aletscheises zum Felsriegel erkennt, nicht allein auf dem Zurückweichen des Seitengletschers, sondern ebenso sehr auf einem Einsinken des ganzen Konkordiaplatzes. Ein Hinweis mehr zu der von Streiff-Becker (1936) bereits ausgesprochenen Warnung, den Eishaushalt der Gletscher nicht zu sehr nach dem Vorücken und Zurückgehen der Zunge zu beurteilen, sondern auch das im Hinblick auf Volumenänderung viel mehr ins Gewicht fallende Einsinken der Firnbecken zu beobachten. Für uns ist wesentlich, daß Hand in Hand mit diesem Einsinken die Anlage des Ogivensystems sich etwas verlagert hat. Von den ersten auftauchenden Ogiven rechts bis zum Punkt P sind auf beiden Bildern



Das auf Abb. 37 mit 1—5 bezeichnete Oberflächenprofil ist in Abb. 38 samt einem Stück der benachbarten Gletscheroberfläche dargestellt. Die Proben entstammen zwei Ogivenbögen I und II. Probe 1 liegt inmitten der ersten Ogive und zeigt deutlichen Sommeraspekt. Die Hauptmenge der Pollen stellt die Fichte, die selteneren Eichen- und Ulmenpollen zeugen für den frühen Sommer. Föhre, Erle und Hasel sind in Frühjahrsresten vorhanden, von denen naturgemäß die Föhre und Erle wegen ihrer größeren Pollenmengen noch mehr Restpollen liefert als die Hasel. In Spuren treten einige Zirbenpollen als Vorboten der folgenden Periode auf. Die Weidenpollenprozentage — das sei hier gleichzeitig auch für alle anderen Weidenvorkommen gesagt — sind als Charakteristikum eines bestimmten Jahresabschnitts kaum zu benützen. Die Gesamtpollenzahl ist im Verhältnis zu den vom Ewigschneeteil sonst gefundenen Pollenmengen (s. Abb. 34) sehr hoch. Nun müßte gegen 2 hin eine Herbstschicht folgen, die durch Proben nicht getroffen wurde. Die Probe 2 besteht aus Eis, das nur vier Pollen enthielt: zwei Föhren- und zwei Erlenpollen, also eine Winterschicht darstellt. Am Vorderrand der Ogive II erwarten wir nach unseren bisherigen Erfahrungen einen Frühlingsaspekt, der in Probe 3 deutlich wird. Die Beimischung einiger weniger Fichtenpollen deutet schon auf die folgende Zeit hin. Noch reiner ist der Frühlingsaspekt in Probe 7, wo auch diese kleine Beimischung von Fichtenpollen fehlt. Nun kommt Probe 6. Sie liegt auf die Ogive bezogen, auf dem entsprechenden Platz der Proben 3 und 7. Nur entstammt sie dem Eis eines sogenannten «Schlierenbogens». Während Probe 4 als Herbstaspekt, Probe 5 als nächster Winteraspekt genau in den Rahmen der andern Proben und in unsere bisherigen Erfahrungen hineinpaßt, fällt Probe 6 vollkommen aus der Reihe. Schon die auffallende Menge von 5300 Pollen im Kubikdezimeter Eis sondert sie von den anderen Proben ab. Eine jahreszeitliche Einordnung der Probe ist nicht möglich. Während Föhre und Erle, Birke und Hasel für den Frühling sprächen, deuten Fichte, Eiche und Ulme schon auf einen Sommeraspekt, die vielen Zirbenpollen und das Vorkommen der Linde auf den Herbst. Die hohe absolute Pollenzahl und der unbestimmbare Aspekt lassen vermuten, daß es sich bei diesen Schlierenbögen um Staublagen anderer Art als bei den Ogiven handelt. Die später am Gepatsch beobachteten Eistexturen, die ebenfalls

am Fuße eines Gletscherbruches auftreten, führen zur selben Vermutung: Diese Schlierenbögen sind nichts anderes als die oberflächlich ausschmelzenden Nähte der Klüfte des Gletscherbruchs, die oft dabei  $\pm$  willkürlich zusammengesetzte Einschwemmungen von Pollen- und Staubmassen ans Licht bringen.

Die zuerst von Tyndall (1876), später von Heim und Sherzer besprochene Auffassung, daß Ogiven dadurch entstünden, daß der Bruch nach unten zu in ein System von Wülsten und Querrinnen übergehe, in denen sich die Staubmassen sammelten, die später als Ogiven erscheinen, ist also unrichtig. Solche ausschmelzende Staubmassen können zwar beobachtet werden, sind aber pollenanalytisch von den Ogiventexturen zu unterscheiden. Einmal aufmerksam gemacht, gelingt die Unterscheidung auch oft schon ad oculos: Die Ogiven sind breite, schummerige Bänder in gleichmäßigem Abstand, die sich fast über den ganzen Teilgletscher hinziehen. Die Schlierenbögen dagegen sind schmal, scharf gezeichnet, der Abstand der einzelnen Bögen ist nicht gleichmäßig und der Einzelbogen ist meist nur bruchstückweise zu verfolgen. Schließlich ist in unserem Falle am Gletscherbruch der Abstand der einzelnen Schollen nur etwa 5 bis 15 m groß, der Abstand der Ogiven jedoch 30—40 m, was wiederum nicht zusammen stimmen würde. Ähnliche Beobachtungen wurden auch am Gepatschgletscher gemacht.

## **20. Aspektstratigraphisches Bild eines Ogivenfeldes des Gepatschferners.**

Um die an den verschiedenen Aletschogiven aufgetretenen Gesetzmäßigkeiten an der Aspektstratigraphie eines anderen Gletschers nachzuprüfen, wurden am Gepatschgletscher, von dem bereits drei senkrechte Profile aus dem Gebiet der Firngrenze, aus dem Firn- und aus dem Zungenteil bekannt waren, Ogiven pollenanalytisch untersucht. Die Gepatschogiven (Abb. 39) treten kurz unterhalb des Gletscherbruchs zutage. Sie erscheinen weniger klar als am Aletsch, da sie durch ein ungefähr parallel laufendes System von Querspalten und durch Schneeflecke unterbrochen sind. Auch die Ogiven selbst zerfallen in schlierenähnlich gruppierte Flecke. Die Vermessung eines Stückes der Gletscheroberfläche (Abb. 40) zeigt jedoch deutlich die Anordnung in dunklere und hellere Bögen.



Die in Abb. 40 eingezeichneten Analysenresultate zeigen den schon von den senkrechten Profilen her bekannten größeren Pollenreichtum des Gepatscheises gegenüber dem Aletscheis. Probe 1,

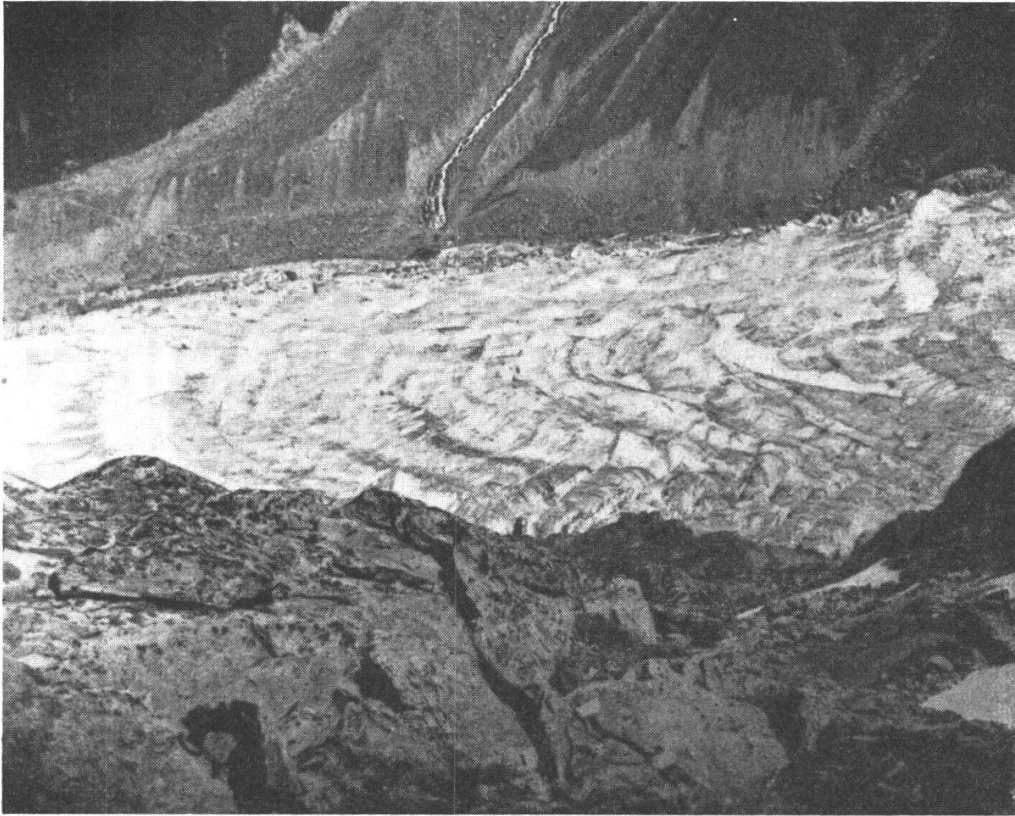


Abb. 39. Ogiven des Gepatschgletschers von der Rauhen-Kopf-Hütte aus gesehen. Die Aufnahme ist nicht retouchiert. Man unterscheidet neben den breiten, grauen Texturen noch schmale, strichförmige Bogenteile, die nicht echte Ogiven, sondern «Nahtlinien» (Schlierenbögen) sind, die mit dem nahen Gletscherbruch in Zusammenhang stehen und zu einer falschen Deutung der Ogiven geführt haben (s. S. 76).

ungefähr in der Mitte des dunklen Teils der Ogive entnommen, weist Sommer- und Herbstpollen und wenige Reste von Frühlingspollen auf. Probe 2 zeigt Frühlingsaspekt. Probe 3 entspricht fast genau dem Aspekt von Probe 1. Ebenso Probe 4. Dann folgt wieder, wie schon bei Probe 2, ziemlich weit vorne im hellen Teil der Ogive eine Frühlingsschicht 5 mit wenigen Sommer- und Herbstpollen. Während die bisherigen Proben zeigten, daß, obwohl die Reihenfolge der Aspekte gleich war, wie wir sie vom Aletsch her kennen, doch insofern eine Verschiedenheit besteht, als die Früh-

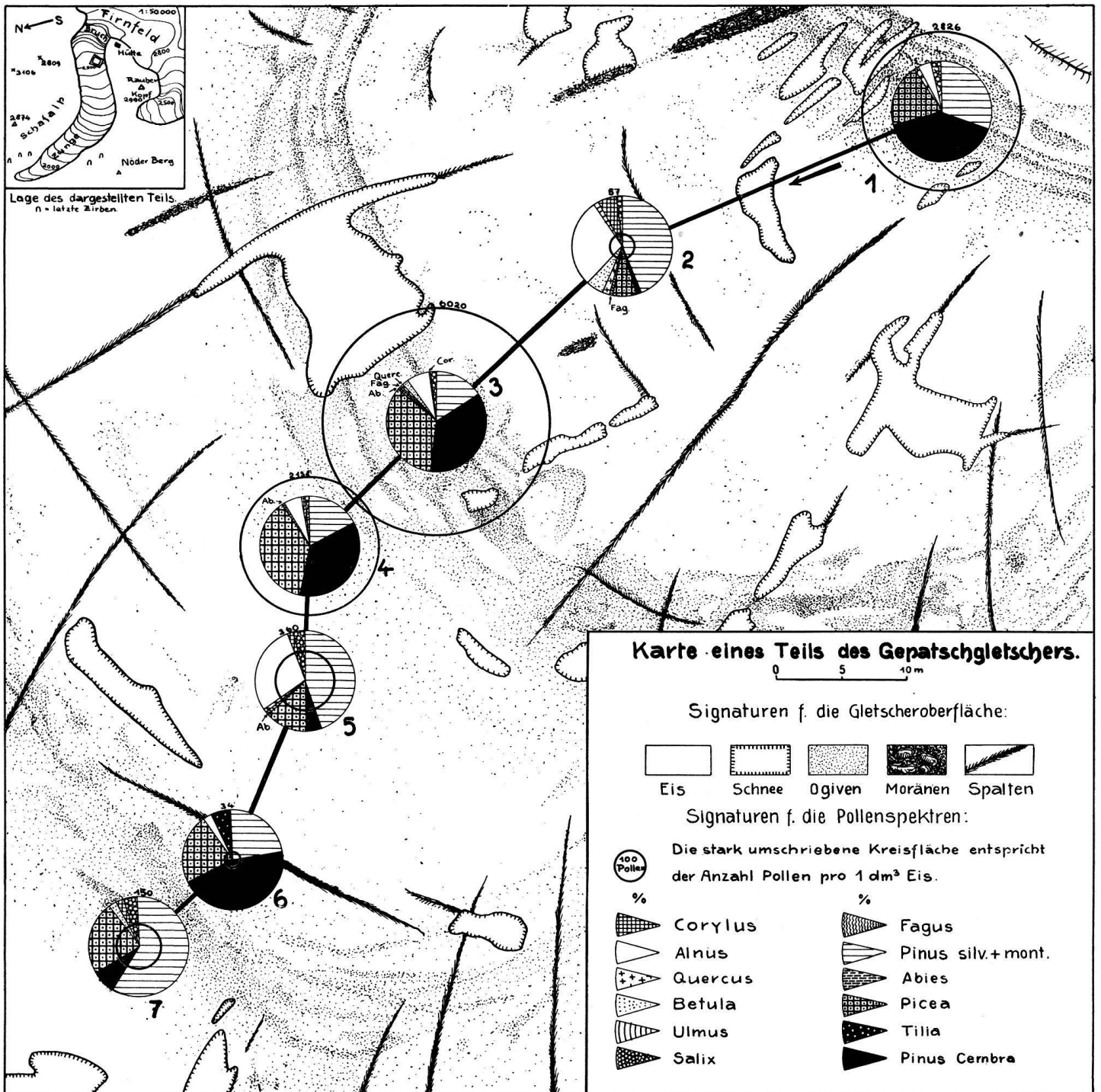


Abb. 40. Karte eines Teils des Gepatschgletschers mit Oggen und Einzeichnung der Pollenspektren des Eises.

lingsschicht mächtiger als am Aletsch entwickelt ist, die Winterschicht im Verhältnis schwächer, erhalten wir in den Proben 6 und 7 ein Bild, das sich genau mit den Aletschogiven deckt: Innenrand der Ogive: Herbstaspekt; Vorderrand: Sommeraspekt mit Resten von Frühlingspollen. Der eigentliche Frühlingsaspekt wäre demnach einige Meter gletscherabwärts wiederum im hellen Teil der Ogive zu erwarten. Der Gepatschgletscher zeigt also in seinem Ogiventeil grundsätzlich dasselbe aspektstratigraphische Bild wie der Aletsch. Der Unterschied in der Mächtigkeit der einzelnen Schichten ist nur gradueller Natur. Er spiegelt die am Gepatsch anderen Firnzuwachs- und Abschmelzerscheinungen wider, unter Einhaltung der vom Aletsch bekannten Gesetzmäßigkeiten.

## 21. Profile im Gebiet des Pflugfurcheneises.

Wie ein Blick auf Abb. 25 und 32 zeigt, nehmen in jenem Teil der Gletscherzunge, in dem Ogiven festzustellen sind, diese selbst nur einen Teil der Oberfläche der Gletscher ein. Auf beiden Seiten sind die Ogiven von Eispartien begleitet, die aus großer Entfernung bald grau, bald heller erscheinen und in der Nähe jene schienenähnliche Oberflächenstruktur zeigen, die als Pflugfurcheneis bezeichnet worden ist. Auch hier hat die pollenanalytische Untersuchung zu ganz bestimmten Resultaten geführt.

Es wurde zunächst ein einzelnes Pflugfurchenblatt, etwa in der Mitte zwischen Mittelmoräne und Ogivenfeld im Jungfrauteil gelegen, untersucht. Die Furchen rechts und links des Blattes bestanden aus dunklerem Eis, an dessen Oberfläche sich Schmutz angesammelt hatte. Zwischen den beiden Furchen war ein etwa 40 cm hoher Rücken, der an der Basis etwa 50 cm breit war, entwickelt. Das Eis dieser hervorragenden Schiene enthielt wenig äußerlich sichtbare Beimischungen und bestand aus weißem, in sich nicht mehr geschichtetem Eis, mit grobem Gletscherkorn. Wie die Abb. 41 zeigt, wurden nun von dieser Furche an der Oberfläche und an einer Spalte bis in 270 cm Tiefe Proben an den verschiedensten Stellen entnommen. Das Resultat der Analyse war überraschend: Alle Eisproben, wieweit auch an der Oberfläche voneinander entfernt, wie tief auch nach unten verfolgt, zeigten mit Ausnahme einer einzigen denselben Aspekt, und zwar

den Sommer mit zahlreichen Frühlingspollen. Die Variation gegen den Frühling hin war so gering, daß sie unter der Fehlergrenze, mit der bei Eisanalysen gerechnet werden muß, lag. Die Furchen

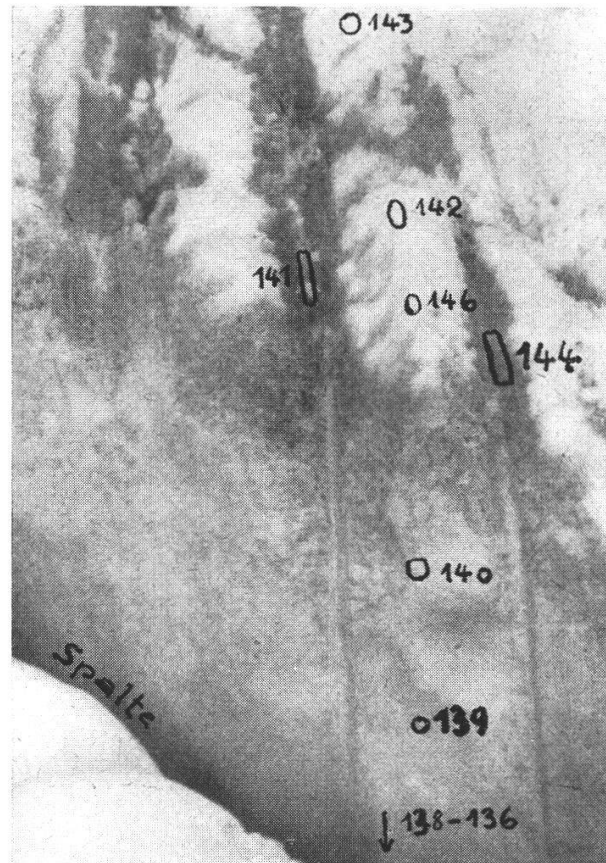


Abb. 41. Proben aus dem Eis zwischen zwei Pflugfurchen. Man sieht auf die Gletscheroberfläche, wo ein Pflugfurchenhügel längs 146—142—143 gletscherwärts zieht. Der schmale Eishügel ist durch eine Spalte nur vorübergehend unterbrochen und ist gegen den Beschauer zu fortgesetzt zu denken. Auf dieser Fortsetzung liegen die hier nicht sichtbaren Proben 147 und 148 ebenfalls an der Oberfläche. Die Nähte unterhalb 141 und 144 zeigen, daß sich die oberflächlich sichtbare Textur in die Gletschertiefe hinab fortsetzt, so daß eine flache, fast senkrecht stehende Eistafel abgegrenzt wird. Dort wo die Spalte die Eistafel schneidet, wurden die Proben 136—140 entnommen. Alle Proben der Eistafel ergaben (mit Ausnahme der fast pollenfreien Probe 138) denselben Aspekt: Sommer mit zahlreichen Frühlingspollen. 141 ist eine Herbst-, 144 eine Winterschicht.

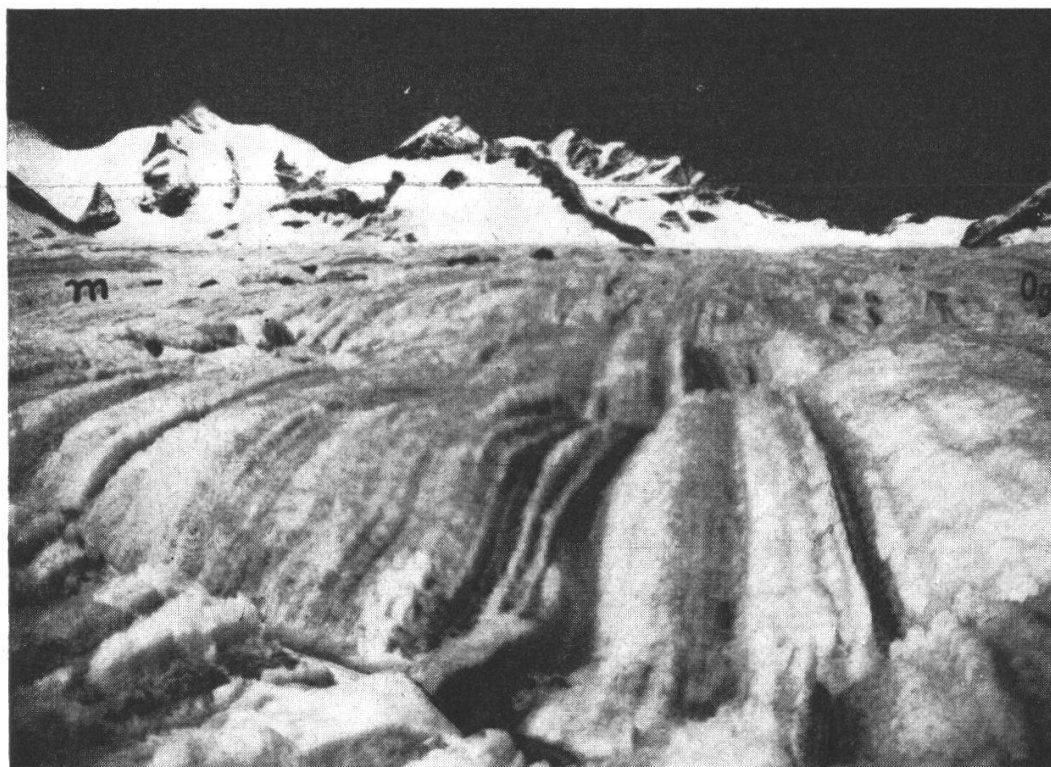
rechts und links der Schiene ergaben links Herbstschicht, rechts Winterschicht. Die Probe 138 enthielt fast keine Pollen, aus den wenigen würde man auf den Sommer schließen. Vielleicht handelt es sich hier um einen Einschluß von fremdem Eis, das sich als solches bei der Probenentnahme von der Umgebung nicht mehr



abhob und daher ebenfalls «geerntet» wurde. Die Eisstruktur und die Beurteilung des Eises überhaupt wird ja beim Arbeiten in den engen Spalten sehr erschwert, so daß es gerade hier leicht vorkommen kann, daß die S. 41 erwähnten Vorsichtsmaßnahmen bei der Probenentnahme nicht angewandt werden können.

An anderen Stellen ergaben Untersuchungen von solchen Furchen ein ähnliches Resultat. Auf größere Strecken hin und in die Tiefe hinab verfolgt, ergab sich immer ein und derselbe Aspekt. Eine Einschränkung ist jedoch zu machen: Je weiter gletscherabwärts solche senkrechten Eisblätter untersucht wurden, um so häufiger wurden gelegentliche Sprünge im Aspektbild, ähnlich dem, den unsere Probe 138 hier zeigte.

Nun galt es noch, die Frage zu klären, wie in einem Oberflächenprofil, quer zum Verlauf der Pflugfurchen der Aspektcharakter verändert wurde. Es gab wiederum die zwei Möglichkeiten: Entweder benachbarte Pflugfurchen enthielten Pollen von



Ab. 42. Pflugfurcheneis. Die Steinreihe m deutet die Lage der langsam auftauchenden Trugbergmoräne an. Bei Og beginnt die Zone der westlichen Ogivenhörner des Ewig-Schneeteils. Die Pflugfurchen nehmen nach Breite und Mächtigkeit gegen die Moräne ab, während sie gegen die Ogiven zu in Buckeleis übergehen.



aufeinanderfolgenden Jahreszeiten, oder die Aspektfolge des Jahres spiegelte sich in der Folge benachbarter Pflugfurchen nicht wider.

Abb. 42 zeigt den äußeren Eindruck der Pflugfurchen, der mit Annäherung an die Mittelmoräne bzw. mit Entfernung vom Ogivenfeld sich etwas ändert. Die Furchen werden immer enger, dunkler und schärfer begrenzt, je mehr wir uns der Moräne nähern. Auch in dem genau eingemessenen Querprofil Abb. 43 kommt dies zum Ausdruck.

Würde sich die im Ogivenhorn festgestellte Aspektfolge gegen das Pflugfurcheneis hin sinngemäß wiederholen, so wäre zu erwarten, daß die dem Ogivenhorn benachbarten Pflugfurchen gegen die Moräne zu die Aspektfolge in der Richtung: Frühling—Winter—Herbst—Sommer widerspiegeln würden. Die Beurteilung der einzelnen Proben ergibt jedoch dafür keinen Anhaltspunkt. Jede der aufgerichteten Eistafeln hat zwar ihren bestimmten Aspekt, der jedoch mit dem Aspekt der benachbarten Tafeln keinen chronologisch sinnvollen Zusammenhang ergibt. Weder in der angegebenen, noch in der umgekehrten Reihenfolge lösen sich, wie die in Abb. 43 eingetragenen Analysenergebnisse zeigen, die den Jahreszeiten entsprechenden Eisteile ab. Vielmehr sind die einzelnen Aspekte regellos ineinander und aneinander vorbeigeschoben und es ist dem Zufall überlassen, welche Aspekte jeweils benachbart sind. Weiter zeigt eine Prüfung der Proben, daß vom Ogivenfeld gegen die Moräne zu immer häufiger ein größerer Jahresabschnitt in ein und derselben Probe erfaßt wird, und daß umgekehrt gegen die Ogiven zu die einzelnen Aspekte reinlicher voneinander getrennt erscheinen.

Das ergibt also eine grundsätzlich andere Aspektstratigraphie als im Firn- und Ogivengebiet. Hier ist die ursprüngliche Lagerung der Eisteile deutlich verändert worden. Die Veränderung geht jedoch noch nicht so weit, daß man einzelne Aspekte überhaupt nicht mehr unterscheiden kann, sondern nur bis zu einer Verschiebung der ursprünglichen Aspektfolge in eine zufällige. Ein Hinweis, der den Einblick in die Bewegungsweise des Aletsch in jenem Teil der Zunge, der die Ogiven trägt, so weit vertieft, daß nun versucht werden soll, aus den Aspekt dia-

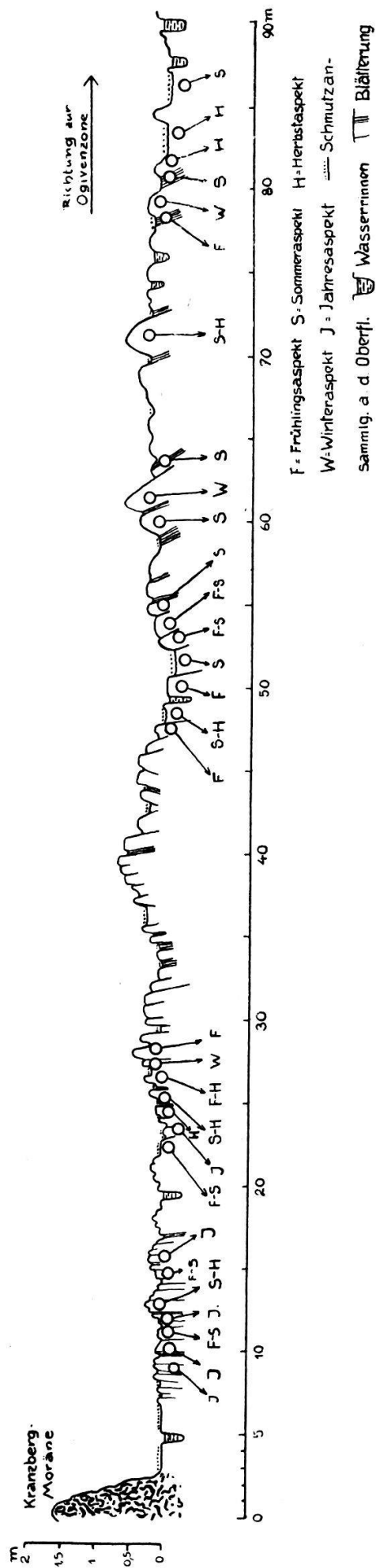


Abb. 43. Querprofil durch das Pflugfurcheneis des Jungfrauteils bei 2700 m (viermal überhöht). Der Aspektcharakter räumlich nebeneinander liegender Eistafeln zeigt keinen sinnvollen, einem zeitlichen Nacheinander entsprechenden Zusammenhang.

grammen das «Wie» der Eisbewegung für diesen Gletscherteil zu erschließen.

## 22. Das aspektstratigraphische Bild der Ogivenzone des Aletschgletschers.

Das Profil durch den Firnteil (Abb. 24) zeigt, in welcher Weise der Gletscher gegliedert ist, wenn er in der Höhe der Firnlinie aus dem Zuwachsgebiet in das Abschmelzgebiet übertritt. Es ist nun unsere Aufgabe, diese Gliederung über die Firnlinie hinaus in jenem Teil des Gletschers zu verfolgen, in dem an der Oberfläche die Ogiven und das Pflugfurcheneis zu sehen sind. Wiederum soll dabei die einzelne Jahresschicht auf ihrem Weg verfolgt werden, unter Wahrung aller Bedingungen, die uns die pollenanalytische Charakteristik der Eismassen vorschreibt.

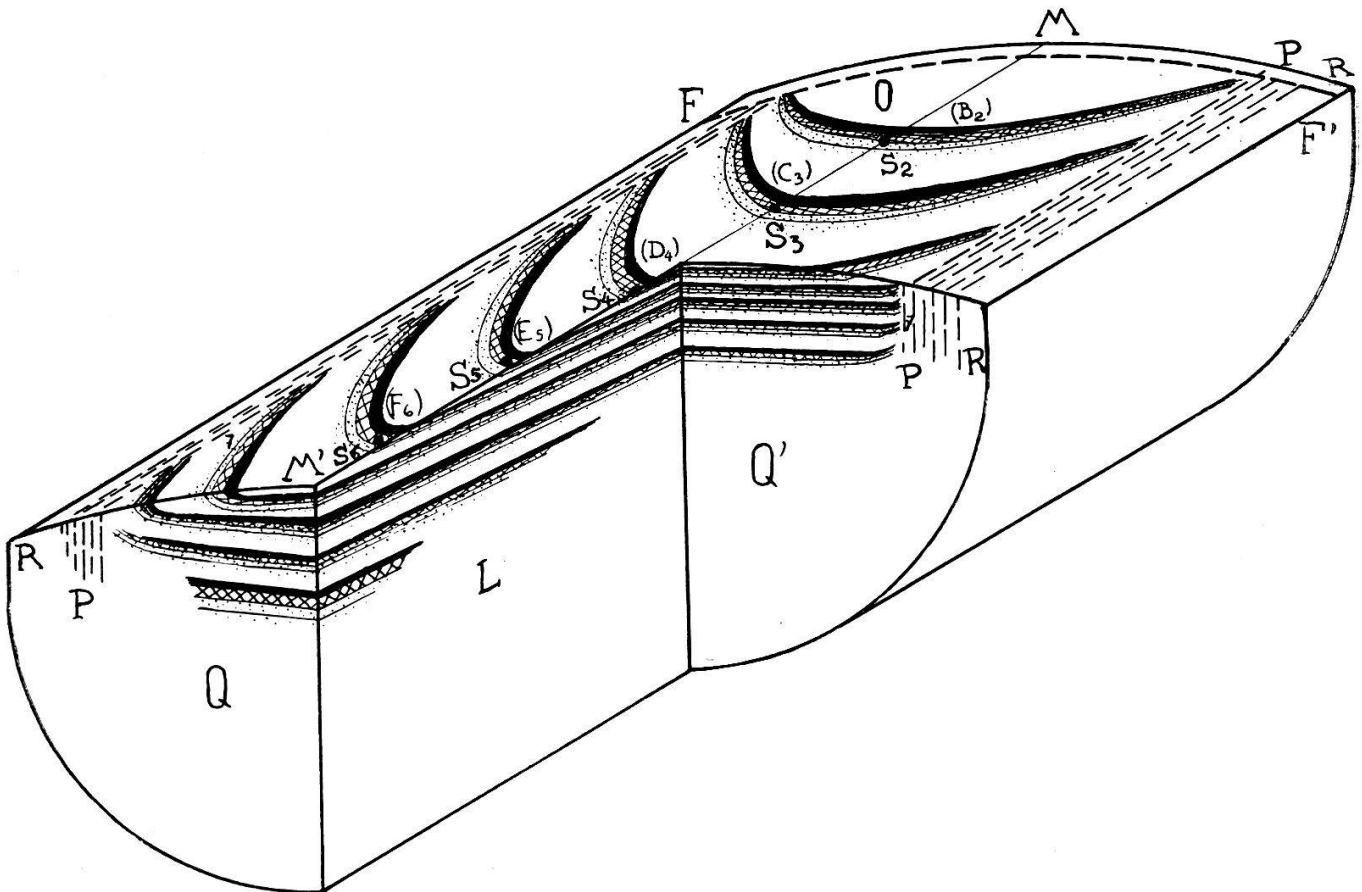


Abb. 44. Schrägriß der Ogivenzone eines Gletschers. L = Längsschnitt, Q, Q' = Querschnitt, O = Gletscheroberfläche. M—M' Mediane durch die Scheitel der Ogiven  $S_2$ — $S_6$ ;  $(B_2)$ — $(F_6)$  die B—F, bzw.  $B_2$ — $F_6$  der Abb. 24 entsprechenden Punkte. P = Zone des Pflugfurcheneises mit Einzelaspekten ohne jahreszeitlich gegebenen Zusammenhang. R = Randzone ohne aspektstratigraphische Gliederung. Signaturen der Aspekte wie bei Abb. 24.

Abb. 44 zeigt einen aspektstratigraphischen Überblick. Ein Stück dieses Gletschers unterhalb der Firnlinie FF' ist im Schrägriß dargestellt. Die ausstreichenden Jahresschichten sind im Oberflächenbild O eingezeichnet. Wir finden unsere Jahresschichten aus Abb. 24 hier wieder. Schicht 1 hat im Augenblick der Darstellung noch keinen Jahresweg zurückgelegt, hat also das Ablationsgebiet noch nicht erreicht. Schicht 2 dagegen ist schon ein Stück vorgerückt und gelangt dort zur Abschmelzung. Dabei muß, nach unseren pollenanalytischen Ergebnissen und auch dann, wenn wir die im Profil A<sub>1</sub>—K<sub>10</sub> festgestellte Aspektschichtung sinngemäß fortführen, oberhalb der Sommerschicht bei S<sub>2</sub> Herbsteis, unterhalb Frühlingseis ausschmelzen. S<sub>2</sub> ist außerdem derjenige Punkt, an dem B<sub>2</sub> einmal zur Ausschmelzung gelangen muß. Die Punkte B<sub>2</sub>—K<sub>10</sub> nähern sich also in dem Maße wieder der Oberfläche des Gletschers, als sie durch Ausschmelzung nach oben und durch die Gletscherbewegung talauswärts gelangen. Sie schmelzen jedoch — bezogen auf die Richtung der Gletscherbewegung — nicht in gleichsinniger Reihenfolge K—A in der sie in den Gletscher gelangten aus, sondern in umgekehrter Reihenfolge A—K. Dabei kommt der am ursprünglich höchsten gelagerte Punkt K an tiefster Stelle heraus. Setzen wir die Aspektreihenfolge aus dem Firnteil sinngemäß mit der im Ogiventeil festgestellten in Verbindung, so erhalten wir in Richtung der Gletscherbewegung die umgekehrte Reihenfolge der Jahreszeiten: Winter—Herbst—Sommer—Frühling—Winter usw. Diese pollenstratigraphische Eigentümlichkeit setzt sich, wie der Längsschnitt L und die Querschnitte Q, Q' unserer Abbildungen zeigen, auch in das Gebiet der Ogivenhörner fort. Wiederum fehlt auf unserer Skizze die Darstellung der unteren Lagen, weil wir auf pollenanalytischem Wege darüber nichts aussagen können. Immerhin aber war es möglich, den Winkel  $\varphi$  annähernd zu bestimmen (siehe S. 19 und S. 113) und so ein Stück weit in die Gletschertiefe hinab Feststellungen zu treffen.

Die Bogenform der ausstreichenden Ogiven erklärt sich ohne weiteres aus der in Form einer stetigen Bewegung verlaufenden Veränderung der ursprünglichen Lagerung der Jahresschichten durch Anpassung an die Trogform des Untergrundes, die die verändert gelagerte Jahresschicht getreulich nachbildet.

Durch den Aspektcharakter der Firnschichtung und den der

Ogiven ist die Zusammengehörigkeit beider Erscheinungen einwandfrei erwiesen. Die Tatsache, daß die Aspektbilder der Firntextur in der Ogiventextur wieder in Erscheinung treten, zeigt, daß der Gletscher sich in jenem Gebiet, das zwischen unseren Firnprofilen und den Ogiven liegt, stetig bewegt, das heißt, daß die örtlichen Geschwindigkeitsverschiedenheiten allmählich ineinander übergehen und benachbarte Punkte ähnliche Geschwindigkeiten haben. Bei sprunghafter Änderung der Geschwindigkeiten wäre der Zusammenhang der Firnaspekte auf dem Weg unter der Firnlinie hindurch in der Gletschertiefe zerstört worden.

Wenn Finsterwalder (1897) annimmt, daß Punkte, die im Firngebiet gletscherabwärts im Sinne A—B—C (siehe Abb. 1) angeordnet sind, unterhalb der Firnlinie im entgegengesetzten Sinne c—b—a wieder auftauchen, so spiegelt sich diese seine Annahme unmittelbar in der Umkehrung der Jahreszeitenfolge im Ogivengebiet. Die Formänderung der Bezugsflächen Q und q der Abb. 2, die Finsterwalder konstruktiv entwickelt, findet in der Verzerrung der Ogiven bis zu spitzbogigen schmalen Winkeln ihre Parallele. Auch für diese Bezugsflächen gilt die festgestellte Umkehrrelation (siehe S. 18). Das Ausstreichen der Ogiven in relativ weiten Abständen entspricht ebenfalls den Konstruktionen der Finsterwalderschen Theorie, weil sich nach Finsterwalder die Jahresschichten erst gegen Ende des Gletschers aufrichten und nahe unterhalb der Firnlinie noch flach auslaufen.

Alle diese Beziehungen zwischen der Finsterwalderschen Theorie und der aufgestellten Aspektstratigraphie sind so eindeutig, daß die «Theorie» Finsterwalders damit für diesen Teil des Gletschers zum Gesetz wird, dessen Gültigkeit pollenanalytisch als bewiesen gelten darf und aus dem sich eine Reihe von Folgerungen ergibt, die für unsere Auffassung der Gletscherbewegung und der Gletschertextur entscheidend sind.



### 23. Folgerungen aus dem Charakter der Ogiven als Jahresschichten.

Aus den Messungen Lütshgs (siehe S. 52) ergibt sich für den Jungfraufirn ein mittlerer Firnzuwachs von ca. 3,90 m im Jahr. Aus unserer Vorstellung der Firngebiete (siehe S. 72) dürfen wir schließen, daß der oberste Firnteil nicht in unsere Ogivenzone ausstreicht, sondern am Gletschergrund zur Schmelzung (Abb. 24, SS') kommt oder in tiefere Gletscherzonen wandert, die erst weiter talauswärts wieder ans Tageslicht kommen. Der dem Ogivenfeld entsprechende Firnteil ist etwas tiefer zu suchen und wir nehmen für ihn daher größenordnungsmäßig auch einen geringeren Firnzuwachs von etwa 2 m im Jahr an. Der mittlere Abstand der Jungfrauogiven beträgt auf unserer Abb. 32 etwa 200 m, der mittlere Abstand der Jungfrauogiven (nach Abb. 25, 3) überhaupt ist etwas kleiner. Im Jahre 1935 betrug er 130 m. Je nach den Jahren schwankt diese Zahl zwischen 120 (1923) und 150 m (1843).

Ein Längsschnitt im Ogivengebiet des Jungfrauteils median durch den Gletscherteil zwischen zwei Ogivenscheiteln geführt, ergäbe dann, zehnmal überhöht, die Verhältnisse, wie sie Abb. 45a zeigt.  $S_1S_2$  ist der Abstand zweier Ogivenscheitel: 130 m,  $S_1C$  die Mächtigkeit der Jahresschicht: 2 m,  $S_2P$  die Horizontalprojektion der Strecke  $S_1S_2$  und  $S_1P$  die Höhendifferenz zwischen den beiden Ogivenscheiteln: 6,5 m (ebenfalls ein Durchschnittswert). Nun läßt sich der Winkel  $\varphi$ , in dem die Jahresschicht aus dem Gletscher ausstreicht und der Winkel  $\beta$ , den sie mit der Horizontalen einschließt, berechnen.

Aus Dreieck  $S_1S_2C$  ergibt sich:  $\cos \alpha = \frac{S_1C}{S_1S_2}$  und daraus  $\alpha$ .

In unserem Falle =  $0^\circ 53'$ .

Aus Dreieck  $S_1S_2P$  ergibt sich:  $\cos \varphi = \frac{S_1P}{S_1S_2}$  und daraus  $\beta$ .

In unserem Falle =  $1^\circ 59'$ .

Da  $S_1S_2$  im Verhältnis zu  $S_1C$  sehr groß ist, fallen etwaige Ungenauigkeiten in der Annahme der Mächtigkeit der Jahresschichten nicht stark ins Gewicht.

Der Winkel  $\varphi$ , den Finsterwalder (vgl. Abb. 3) größenordnungsmäßig einzeichnet, ist nun für jeden Teilgletscher des Aletsch bestimmbar und es zeigt sich, daß er für jeden Teilglet-

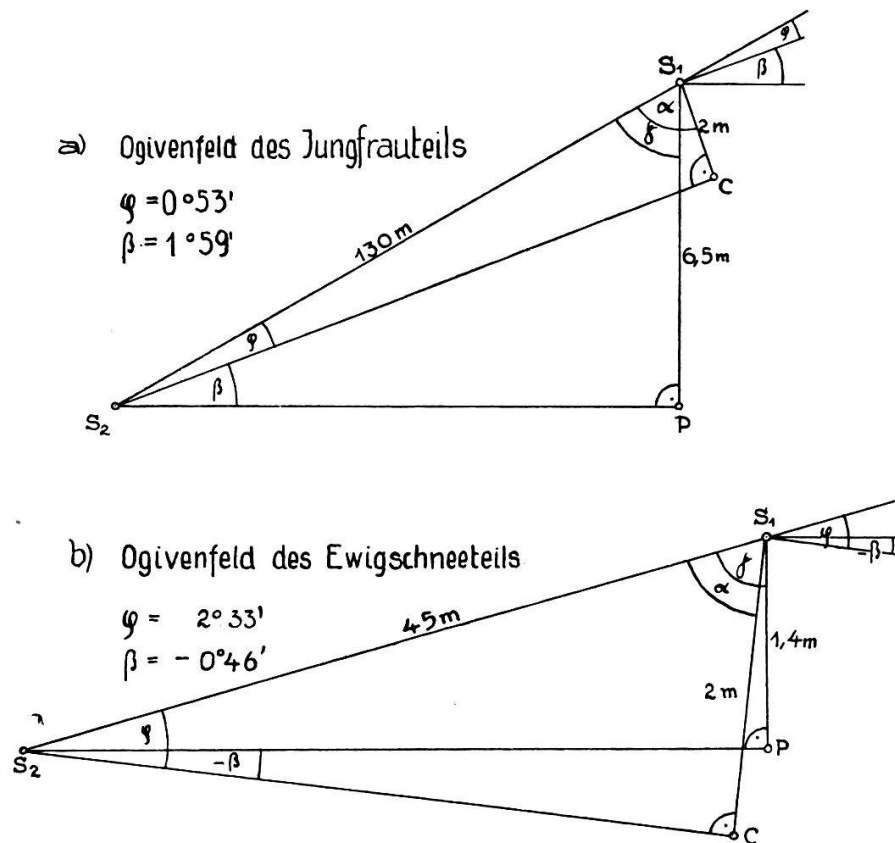


Abb. 45 a, b. Ausstreichen der Jahresschichten an der Gletscheroberfläche im Ogivengebiet, 10 × überhöht.

scher verschieden groß ist. Wie sich aus den verschiedenen Maßen für  $S_1S_2$  und für  $S_1P$  ergibt, beträgt er:

Jungfrauteil:	$\varphi = 0^\circ 53'$ ; $\beta = 1^\circ 59'$
Aletschteil:	$\varphi = 1^\circ 12'$ ; $\beta = 2^\circ 11'$
Ewigschneeteil:	
beim inneren Schönbühl:	$\varphi = 2^\circ 33'$ ; $\beta = -0^\circ 46'$
am Konkordiaplatz	$\varphi = 2^\circ 33'$ ; $\beta = -1^\circ 11'$
Gepatschgletscher, Ötztalergruppe:	$\varphi = 2^\circ 45'$ ; $\beta = -1^\circ 44'$

Es zeigt sich, daß der Winkel des Ausstreichens der Schichten überall sehr klein bleibt. Im Aletschteil jedoch deutlich steiler als im Jungfrauteil. In den drei folgenden Beispielen wird  $\beta$  «negativ», d. h. die Jahresschichten streichen hier nicht mehr abwärts, sondern aufwärts geneigt aus, wie aus Abb. 45b hervorgeht. Es ist auffallend, daß in allen jenen Fällen, wo  $\beta$  negativ ist, das Ogivenfeld in geringerer oder größerer Entfernung unter-

halb eines Gletscherbruches liegt, während man weder im Jungfrau- noch im Aletschteil von einem eigentlichen Bruch reden kann. Da der Zusammenhang zwischen Ogiven und Gletscherbruch nicht der sein kann, den Heim (siehe S. 76) und andere annehmen, dürfte sich hier eine andere Gesetzmäßigkeit andeuten, die die enger gelagerten Ogiven in Nähe des Gletscherbruches mit dem Gefällwechsel in Beziehung bringt. Es ist denkbar, daß der im Gletscherbruch auftretenden Geschwindigkeitszunahme eine Stauung unterhalb des Gletscherbruchs folgt. Diese kann zwar die Mächtigkeit der Jahresschichten nicht ändern, wohl aber ein steileres Ausstreichen bewirken. Dafür spricht auch die stark konvex gewölbte Ogivenpartie des Ewigschneeteils, die unterhalb des Gletscherbruchs festzustellen ist (vgl. Abb. 37), im Gegensatz zu den konkav geformten anderen Einmündungen in den Konkordiaplatz. Vielleicht steht damit auch die von Mothes festgestellte große Eistiefe an dieser Stelle irgendwie im Zusammenhang.

Ob die Textur der Ogivenform die einzige Form ist, in der Jahresschichten ausschmelzen können, konnte nicht festgestellt werden. Es ist denkbar, daß in Jahren sehr starker Abschmelzung bei Gletschern mit sehr flach ausstreichenden Schichten von an sich geringer Mächtigkeit andere Schmelzfiguren sichtbar werden. Solche an Achatzeichnung erinnernde Formen zeigt zum Beispiel die von W. Flaig (1938) veröffentlichte Swiss-Air-Aufnahme (Phot. Mittelholzer) des Glärnischgletschers. Die Natur dieser Schmelzfiguren wäre pollenanalytisch noch festzustellen.

Bisher haben wir die Gesetzmäßigkeiten im Ogivengebiet nur für einfache Gletscher zur Darstellung gebracht. Bei zusammengesetzten Gletschern sind einige Weiterungen zu machen.

Wenn die Ogivenform als solche in Zusammenhang mit der Gletscherbewegung steht, nämlich mit der durch Messung festgestellten Geschwindigkeitszunahme vom Rande zur Mitte, dann müssen auch die einmal aufgetauchten Ogivensysteme im Laufe ihrer Wanderung weiterhin durch solche Geschwindigkeitsänderungen verzerrt werden. Liegt beispielsweise eine Ogive A, die Halbkreisform hat (vgl. Abb. 46), in jenem Gletscherteil, der zwischen der rechten Seitenmoräne S und einer Mittelmoräne M liegt, so wächst die Geschwindigkeit der Teile der Ogive von S gegen M zu. Während also das rechte Horn der Ogive die Strecke  $r$  zu-

rücklegt, hat jeder Punkt der Ogive, der weiter gegen die Mitte zu liegt, die Strecke  $r+d$  zurückzulegen, wobei  $d$  gegen die Mitte zu in der Art wächst, wie wir es von den Messungen am Rhonegletscher her (Heim, 1885) und von zahlreichen anderen Mes-

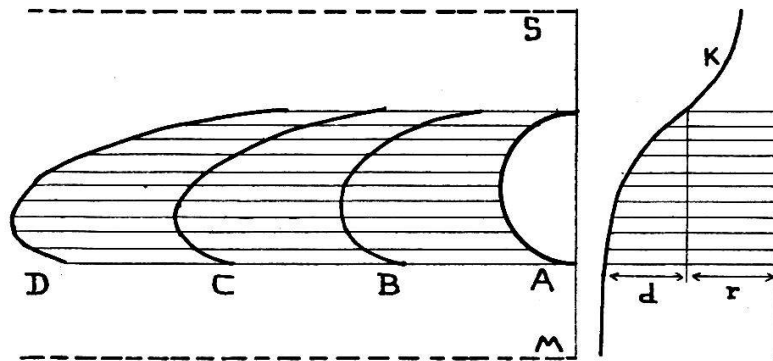


Abb. 46. Deformierung einer Ogive eines Teilgletschers beim Vorrücken von A nach D. S = Seitenmoräne; M = Mittelmoräne; K = Kurve der Oberflächengeschwindigkeit;  $d$  = Geschwindigkeitsdifferenz der die Deformierung zuzuschreiben ist.

sungen der Oberflächengeschwindigkeit kennen. Eine diesen Voraussetzungen entsprechende Konstruktion zeigt, daß sich die Ogive A bei ihrem Weg über die Gletscherzunge nach und nach in die Form der Ogive B, schließlich in die von C und D verzerren muß: Sie wird als Ganzes schmaler, ihre gegen die Seitenmoräne zu ausstreichenden Hörner werden nach hinten weiter ausgezogen und ihr Scheitel verschiebt sich gegen die Mittelmoräne zu.

Tatsächlich waren solche Verzerrungen am Aletschgletscher wiederholt feststellbar. Das schönste Dokument für ihr Bestehen ist die Siegfriedkarte (Abb. 13 und 25/1). Die Aletschogiven, die bei 2610 m noch bogige Form haben, werden unterhalb 2250 deutlich spitzbogiger und unterhalb 2430 m verschiebt sich der Ogivenscheitel deutlich nach Osten, also gegen die Mittelmoräne (Kranzbergmoräne) zu. Die letzte Spur dieses verschobenen Scheitels dürfte der lang auslaufende Schmutzstreifen bei Punkt 2426 sein, der sich an die untersten, gerade noch erkennbaren Ogiven anschließt.

Die Jungfrauogiven zeigen nur die Verzerrung ins Spitzbogige, eine seitliche Ablenkung zeigen sie nicht, weil sie ja nicht am Rande des Gletschers liegen, sondern in der Mitte der Teilströme

fließen. Dort ist aber die Geschwindigkeitsänderung, wie unsere Kurve (Abb. 46, rechts) zeigt, am geringsten, obwohl die Geschwindigkeit selbst am größten ist. Die Ewigschneeteilogiven zeigen die Ablenkung ebenfalls nicht, weil sie nur ein zu kurzes Stück auftauchen und schon weit oberhalb des Märjelensees von anderen Texturen verdeckt werden.

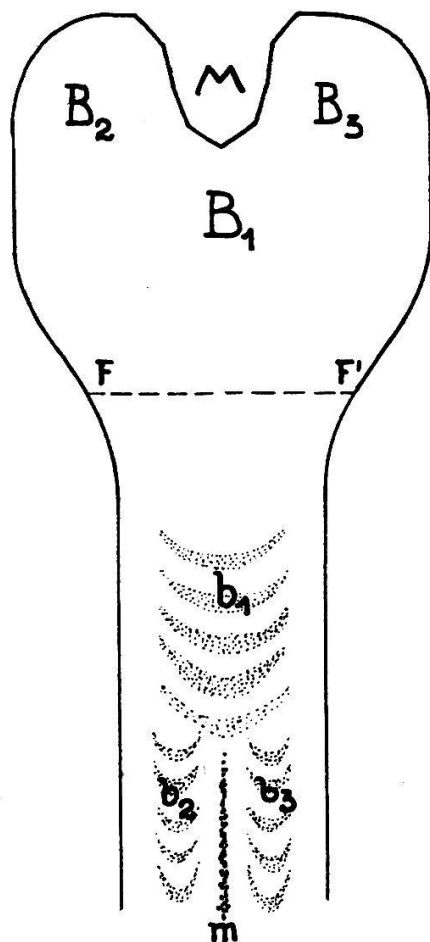


Abb. 47. Schematisches Bild eines Gletschers mit einem Hauptfirnbecken  $B_1$  und zwei höheren Nebenbecken  $B_2$  und  $B_3$ .  $M$  = Felsriegel;  $FF'$  = Firnlinie;  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = Ogivensysteme;  $m$  = Innenmoräne.

Es bleibt nun noch die merkwürdige Tatsache zu erklären, daß in einem Ogivenfeld, das einheitlich einen ganzen Teilstrom des Aletsch überzieht, gletscherabwärts plötzlich mehrere Ogivensysteme nebeneinander auftauchen, und zwar nach allem Ermessen an genau dem entsprechenden Platz, den weiter oben das einfache Ogivenfeld eingenommen hat. Eine Umkehrung, daß also ein mehrfaches Ogivenfeld in ein einfaches übergeht, wurde nie-



mals beobachtet. Ebenso zwanglos wie die Erklärung der Ogivenverzerrung, ergibt sich auch die dieser Erscheinung, wie Abb. 47 zeigt. Ein schematisch angedeuteter Gletscher habe ein großes Firnbecken  $B_1$ , das nach oben zu in zwei kleinere Becken übergeht  $B_2$ ,  $B_3$ , die durch den Felsriegel  $M$  getrennt sind. Dem Firnfeld  $B_1$  entsprechen die bei  $b_1$  auftauchenden Ogiven, gletscherabwärts jedoch müssen jene Ogivenserien auftauchen, die den Firnbecken  $B_2$  und  $B_3$  zugeordnet sind. Gleichzeitig ist zwischen diesen Ogivenserien eine Moräne  $m$ , die dem Felsriegel  $M$  entspricht, zu erwarten. Da die Jahresschichten selbst sehr flach ausstreichen, müßte auch ein sehr allmähliches Auftauchen dieser Moräne zu erwarten sein.

Jede einzelne dieser Erscheinungen läßt sich am Aletsch nachweisen. Wie Abb. 13 und 25/3 zeigen, taucht im Gebiet zwischen Trugberg- und Kranzbergmoräne, in dem oberhalb 2580 m nur die Ogivenreihe des Jungfrauteils zu sehen ist, allmählich ein zweites System von Ogiven auf, das des Rottalhornteils. Aus der großen Entfernung von der Firnlinie ergibt sich, daß auch das zugehörige Firnbecken erst hoch oben im Firngebiet zu erwarten ist; aus der Lage der Ogiven westlich der Jungfrauogiven und östlich der Kranzbergmoräne geht hervor, daß sie einem westlichen Teilbecken nördlich des Kranzberggipfels entsprechen müssen. So gelangt man zu der erwähnten Lokalisierung im Firnbecken unterhalb des Rottalhorns.

Die 1935 beobachteten vierfachen Ogiven, die am Ende der Aletschogivenserie auftauchen (Abb. 25, 3), entsprechen sehr wahrscheinlich von Osten nach Westen: Dem Kranzbergfirn, dem Gletscherhornfirn, dem Ebnefluhfirn und dem vom Aletschhorn selbst kommenden Firn. Hier konnte auch das ganz allmähliche Auftauchen schwacher Moränen zwischen den Ogivenserien beobachtet werden. Die diesen kleinen Moränen zugeordneten Ursprungsfelsen sind wahrscheinlich die der Punkte 3424, 3107 und 3204 und die von ihnen ausgehenden, vom Gletscher verdeckten Felsrippen.

Es muß nun noch eine letzte Erscheinung im Ogivenfeld besprochen werden, die wahrscheinlich als eine Übergangserscheinung zwischen dem Bewegungstypus des Ogivenfeldes und dem des Pflugfurcheneises zu werten ist. Oft wurde bei weitausladenden Ogiven am Horn gegen die Mittelmoräne zu eine deutliche

Hakenbildung beobachtet. Am deutlichsten bei den Aletschogiven unterhalb 2700 m (Abb. 30). Schon eine Skizze N u ß b a u m s (1929) zeigt, wenn auch etwas vereinfacht, die Hakenbildung. Die Haken sind dort so eingezeichnet, als handle es sich um ein zweites Ogivensystem, das parallel und in gleichem Rhythmus wie die Hauptogiven erscheint. Zu dieser Auffassung bin ich nicht gekommen, und zwar spricht folgendes dagegen: Zwischen zwei Ogivensystemen liegt stets, soweit ich bis jetzt beobachten konnte, eine Eismasse, die oberflächlich als Pflugfurcheneis erscheint und die keine Ogiven trägt. Hier aber geht der große Ogivenbogen direkt randlich in den Haken über. Außerdem ist es undenkbar, daß zwei Ogivensysteme, die aus verschiedenen Firnbecken herühren, in ihrem Abstand Jahr für Jahr so zusammenstimmen, daß die Bögen immer nebeneinander auftauchen. So gelangte ich zur Auffassung, daß dieses Horn ein Teil der Aletschogive selbst sei und die Hakenbildung nichts anderes sei als ein Anzeichen einer sprunghaften Geschwindigkeitsänderung. Einer Änderung in dem Sinne, daß der äußerste Teil des linken Horns sich rascher bewegt als die übrige Ogive, also vorausseilt und so die Hakenform erzeugt. Hier hätten wir zum erstenmal eine Abscherung im Philippschen Sinne, die bisher weder im Firnteil noch im Ogiventeil, wie nachgewiesen werden konnte, festzustellen war. Diese Deutung des Ogivenhakens gewinnt noch größere Wahrscheinlichkeit, wenn man das dem Ogivenfeld rechts und links anliegende Pflugfurcheneis auf seine durch die Pollenaspekte angedeuteten Bewegungsmöglichkeiten hin untersucht.

#### **24. Folgerungen aus dem Aspektcharakter des Pflugfurcheneises.**

Das Pflugfurcheneis besteht aus mehr oder weniger ausgedehnten, senkrechten oder etwas geneigten Eisplatten, die jede für sich einen mehr oder weniger einheitlichen Aspektcharakter zeigt, der jedoch von einer Platte zur nächstbenachbarten sprunghaft und nicht im Sinne der natürlichen Aspektfolge wechselt. Damit ist erwiesen, daß für diesen Teil des Gletschers die ursprüngliche Firnschichtung verändert wurde. Die Veränderung erfolgt derart, daß große Eiskomplexe — eben die erwähnten Platten — in ungestörtem Zusammenhang bleiben. Der Ort der Differentialbewegung, dem die Veränderung zuzuschreiben ist, ist also nicht in den Platten selbst, sondern an ihren Grenzflächen zu suchen. Die

Hakenbildung der Aletschogiven wäre also als ein erstes Anzeichen dieser veränderten Bewegungsweise zu deuten. Hier kommt die Scherungstheorie von Philipp zu ihrem Recht.

Der Einwand, daß durch Steinreihen, die, quer über den Gletscher gelegt, die Bewegungsweise des Gletschers durch die gegenseitige Verschiebung dokumentieren, eine solche sprungweise Geschwindigkeitsänderung niemals beobachtet wurde, bringt uns noch ein Stück weiter: Diese Differenzialbewegung erfolgt an der Oberfläche überhaupt nicht mehr. Der festgestellte Aspektcharakter des Pflugfurcheneises beweist ja nur, daß eine solche Bewegung einmal stattgefunden haben muß. Wo dies gewesen ist und unter welchen Umständen, läßt sich pollenanalytisch nicht feststellen. Um hier eine Deutung zu versuchen, muß einmal die sichere Führungslinie, die die Pollenanalyse uns gibt, verlassen und durch theoretische Überlegungen ersetzt werden.

Zunächst aber noch ein «negatives» Merkmal des Pflugfurcheneises. Es tritt nur an mächtigen Gletschern auf, die aus Teilgletschern zusammengesetzt sind. Wenn, wie auf dem Triftgletscher (vgl. das von Nußbaum 1929 veröffentlichte Bild), nur ein System von Ogiven vorhanden ist, das den ganzen Gletscher von Ufer zu Ufer überzieht, dann wird kein Pflugfurcheneis gebildet. Ebenso lassen sich die obersten Ogiven des Ewigschneeteils am Aletschgletscher über die ganze Breite des Ewigschneefirns verfolgen, solange dieser noch nicht mit den andern Teilströmen vereint ist. Von dem Augenblick an, wo sich der Grünhornfirn dazuschiebt, reichen die Ogiven des Ewigschneeteils nicht etwa bis zur Grüneckmoräne, sondern es schiebt sich von Anfang an zwischen sie und das Ogivenfeld eine Eiszone ein, die, zunächst ohne charakteristische Textur, im Weiterfließen das Erscheinungsbild der Pflugfurchen zeigt. Auch die Ogiven des Gepatschgletschers lassen zwischen ihren Hörnern und dem Gletscherrand keinen Raum für Pflugfurcheneis.

Durch zahlreiche Messungen von Heß (1904), Hamburg (1901) u. a. ergab sich, daß am Zusammenfluß zweier Gletscher, die sich durch eine gemeinsame Mittelmoräne abgrenzen, keine Veränderung der Stetigkeit im Verlauf einer dort postierten Steinlinie auftritt. Und doch hatte vor dem Zusammenfluß jeder Gletscher eine vom andern verschiedene Geschwindigkeit. Ich möchte mit Holl (1931) annehmen, daß sich am Ort des Zusammenflus-

ses der beiden Gletscher die Fallwärme in tieferen Lagen konzentriert, und zwar dort, wo die größte Reibung der aufeinanderdrückenden Massen auftritt. Dort treten dann wohl auch jene Differenzialbewegungen auf, die wir nach dem aspektstratigraphischen Bild zwar feststellen, aber nicht lokalisieren konnten.

Wir kämen also zur Vorstellung, daß die ursprüngliche, in der Firnschichtung gegebene Struktur nur dort ungehindert erhalten bleibt, wo keine extremen Druckverhältnisse herrschen und keine starken Widerstände zu überwinden sind. Mit andern Worten, der Gletscher fließt dort stetig, wo er auf dem eigenen Eise oberflächlich «schwimmt», er zeigt Scherungsbewegungen dort, wo Druck und Reibung die stetige Bewegung stören. Wir werden später, nach Besprechung des untersten Teiles des Gletschers, noch einmal diese Gedanken berühren.

Zusammenfassend stellt sich also das Gletscherfließen nach den bisherigen Feststellungen folgendermaßen dar:

Im Gebiet der Firnlinie kommen die Jahresschichten, in großen Massen übereinanderliegend, dem Gletschergrund entsprechend muldenförmig geformt, ins Ablationsgebiet. Dort streichen sie oberflächlich aus. Dabei bildet sich der Wechsel von hellem, luftreichen, staubarmem Winterschnee und dunklerem, luftarmem und staubreichem Sommerschnee im Eise der Ogivenzone ab. Dieses Ausstreichen erfolgt in sehr flachem Winkel. Bei kleinen, einfachen, nicht tiefen Gletschern (Triftgletscher) sind damit die Bewegungsphänomene erschöpft. Bei zusammengesetzten Gletschern dagegen kommt es vor, daß im Gebiet, in dem der Zusammenfluß erfolgt, also nahe dem Ursprung der Mittelmoräne, die Randzone der ausstreichenden Jahresschichtpakete unter der Gletscheroberfläche zertrümmert wird. Diese Zertrümmerung erfolgt meist derart, daß die ursprünglichen Einzelschichten scherbenförmig durcheinandergeschoben werden, so daß zwar oft auf größere Strecken hin der Aspektcharakter der «Scherbe» erhalten bleibt, daß aber doch durch das Ineinanderschieben verschiedener «Scherben» eine sprunghafte Änderung des Aspektcharakters entsteht, die uns die sprunghafte Änderung der Geschwindigkeit anzeigt. Die fast senkrecht gestellten Eisplatten solcher Grenz-zonen zweier Gletscherteilströme zeigen im Abschmelzgebiet jene

Abschmelzerscheinungen, als deren Folge rechts und links der Ogiven das Pflugfurcheneis auftritt.

Vielleicht gelingt es einmal, die wechselnde Breite dieser Pflugfurchenzonen mit der Mächtigkeit der errechneten Drucke von aufeinandertreffenden Teilströmen in Beziehung zu bringen.

## **D. Der Zungenendteil des Aletsch.**

### **25. Äussere Erscheinung des Zungenendes des Grossen Aletsch.**

Unter dem Zungenende sei hier jenes Gebiet des Aletschgletschers verstanden, das sich etwa von der Höhe des Märjelensees aus (2400 m Isohypse) bis zum Gletschertor erstreckt. Es handelt sich also immer noch um ein großes Gletschergebiet, das mit etwa 10 km Länge und 1—2 km Breite fast ebenso groß ist, wie das Ogivengebiet. Der Grund, warum dieser Teil des Gletschers gesondert behandelt werden muß, ist der, daß hier die weithin verfolgbaren Texturen der höheren Lagen fehlen. Die Abschmelzerscheinungen beherrschen das ganze Bild. Von den Ogivenfeldern ist nur ein schmaler Streifen Schmutzeises übriggeblieben, der sich noch ein Stück weit als parallel den Moränen laufende Textur verfolgen läßt (Abb. 13). Die Moränen selbst werden breiter, wachsen gratartig aus dem Gletscher heraus und überschütten nahe dem Gletschertor schließlich alles mit Schutt und Schmutz. Neue Moränen tauchen auf. Sie treten aber nicht wie im Ogivengebiet ganz allmählich zutage (vgl. Abb. 42 m), sondern steigen in steilem Zuge nach oben (Abb. 48). Das Gletscherkorn ist hier fast überall gleichmäßig 3—4 cm im Durchmesser. Nur in jenem Gletscherteil, der gegen den Märjelensee zu liegt, kommt noch gröberes Gletscherkorn vor und an Eisbergen des Märjelensees wurden bis faustgroße Kristalle festgestellt.

Eine merkwürdige Erscheinung dieses Gletscherteils sind jene «Eistäler», die wie plötzliche Einbruchgebiete in der Nähe des Märjelensees die Gletscheroberfläche gliedern. Diese Erscheinung findet sich in der Literatur nur gelegentlich erwähnt, ohne daß sie genauer untersucht worden wäre. Wie Abb. 13 u. 14 zeigen, sind diese Eisbecken in immer gleicher Form auf der konvexen Seite des allmählich nach Südwesten umbiegenden Zungenteils angeordnet. Abb. 49 zeigt den Anblick eines solchen Beckens, dessen Grund



mit einem Zuge von einander parallelen Spalten, die quer zum Eisbecken laufen, bedeckt ist, von einem Eisbuckel aus, der dieses Becken von dem weiter rechts liegenden trennt. Man erkennt, welche Ausmaße diese Beckenbildung erreicht (Abb. 49) und wie gehäuft sie auftritt (Abb. 14).

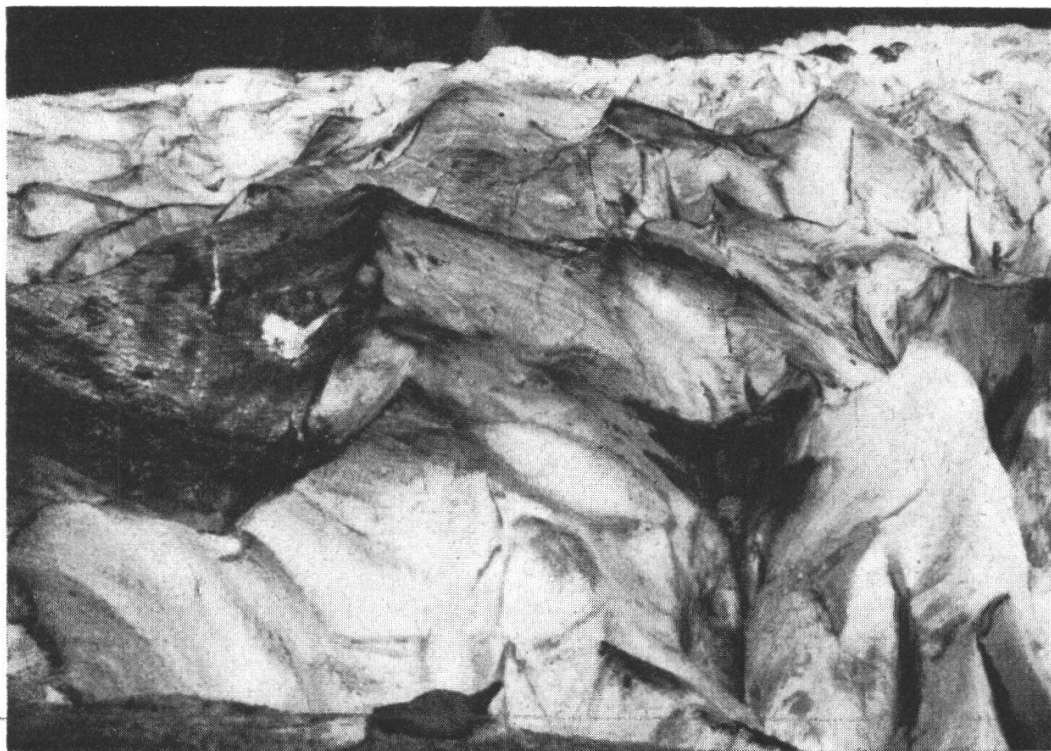


Abb. 48. Einblick in drei Querspaltan im Zungenendgebiet des Aletschgletschers, die Einblick gewähren in das in starkem Aufstieg erfolgende Auftauchen einer Innenmoräne.

Von den Strukturen der Gletscheroberfläche des Ogiventils ist nur das Pflugfurcheneis (Abb. 50) übriggeblieben. Es streicht im allgemeinen parallel zur Gletscherbewegung wie schon im Mittelteil des Gletschers. Sein Aussehen jedoch hat sich stark geändert. Statt der breiten, hellen Rücken und der schmalen, dunklen Rinnen, die den Eindruck mächtiger senkrechter Eistafeln ergaben, sind nun nurmehr schmale längsgestreifte Texturen zu sehen, die eher an das erinnern, was man mit Blätterung bezeichnet hat, als an mächtige Eistafeln. Auch wird es immer schwerer, solche Blätter weithin zu verfolgen, wie dies bei den Tafeln des Pflugfurcheneises des Mittelteils des Gletschers sowohl in waagrecht, wie senkrechter Richtung möglich war. Auch ist die Schmutzverteilung nicht mehr streng an die Furchentextur ge-

bunden, sondern geht schlierenartig über die verschiedenen Texturen hin.

Das Gletschertor liegt in einem schluchtartigen Kessel, der zur Zeit der Bearbeitung nur durch Abseilen zu erreichen war. Dieser Kessel ist der Beginn der Massaschlucht, die den Hauptteil

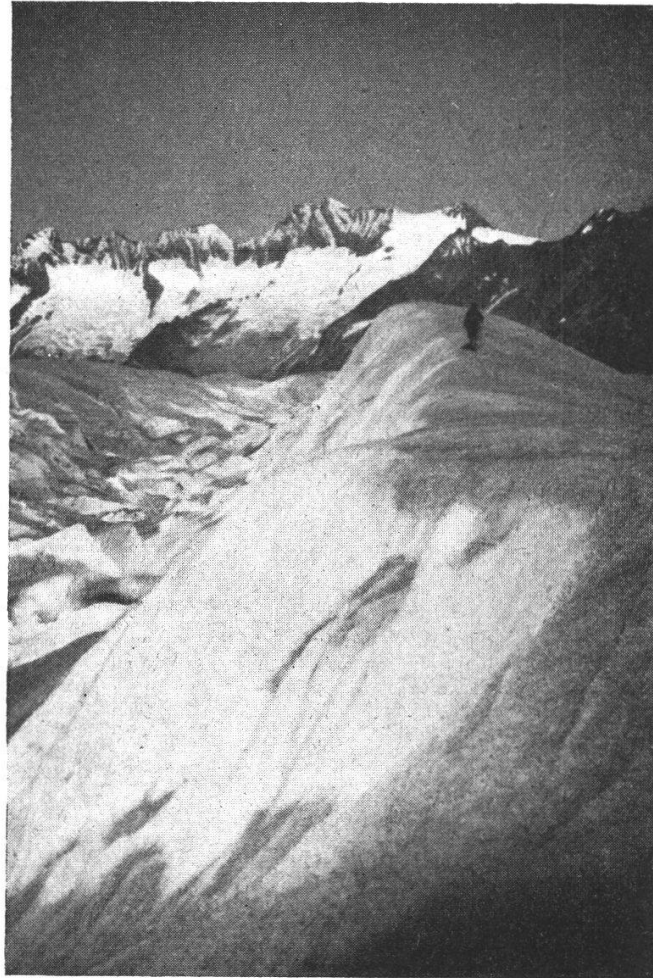


Abb. 49. Eistal (links) und Eisrücken (rechts); in der Senke eine Reihe von Querspalten.

des Abflusses des Aletschgletschers faßt \*. Die Zunge fällt in sehr steiler Eiswand in diesen Kessel nieder und zeigt außer einer alles überziehenden Moränenschuttdecke keinerlei Texturen. Das Korn des Eises hat 3—4 cm Durchmesser, ist also nicht, wie zu erwarten wäre, das größte Korn des Gletschers, sondern wird von den

---

\* Ein kleiner Teil des Gesamtabflusses gelangt bei Hochstand des Wassers des Märjelsees durch den eigens dafür gegrabenen Stollen ins Fieschertal zum Abfluß.

Korngrößen aus Eisbergen des Märjelensees noch bedeutend übertreffen.

Gerade in diesem untersten Teil des Gletschers wurden besonders viele Eisproben gesammelt und analysiert. Das dabei gesammelte große Tatsachenmaterial kann hier nur in ein paar

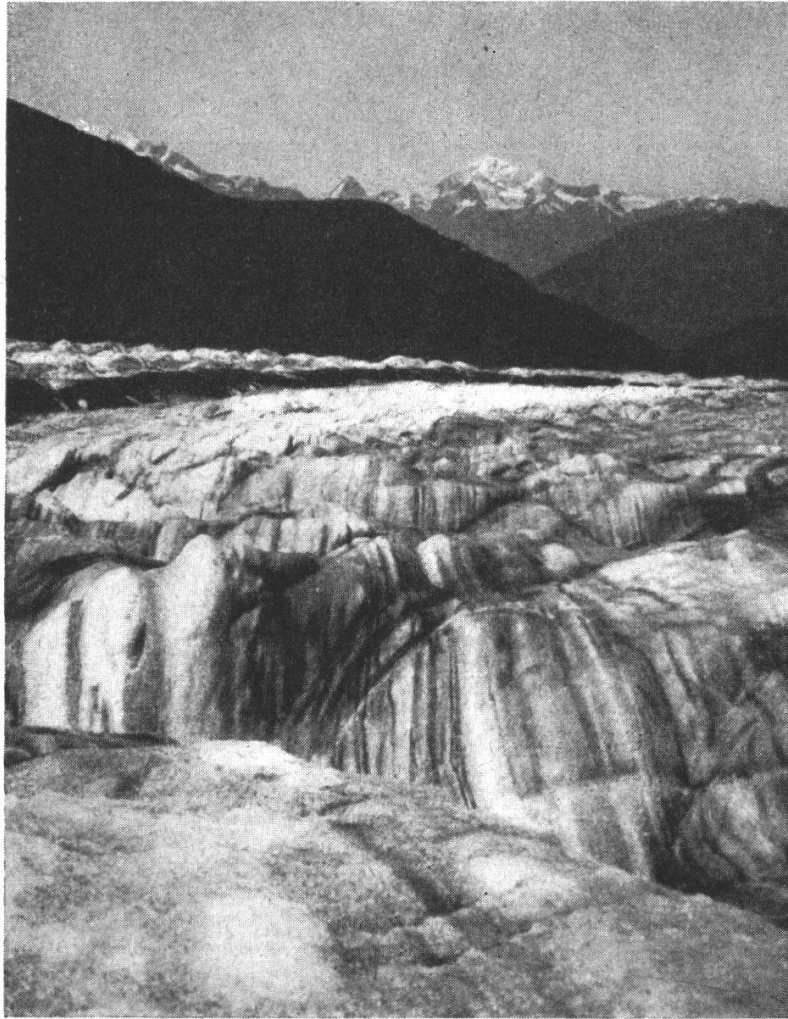


Abb. 50. Pflugfurcheneis aus dem Zungenendgebiet des Aletschgletschers.

Beispielen angeführt werden, um so mehr als die dabei erzielten Analysenresultate einen mehr negativen Charakter tragen.

## **26. Proben aus dem Zungenendgebiet des Grossen Aletsch.**

Während wir im Firngebiet die Firnschichtung, im oberen Zungenteil die Ogiven- und Pflugfurchentextur als äußere Leitzeichnung zur Orientierung unserer Eisprobenprofile benützen konnten, bleibt uns hier auf großen Teilen überhaupt keine sichere

Eistextur übrig, oder wir müssen uns an die sehr unsicher zu ver-  
folgende, unbestimmt abgegrenzte und auf kurzer Strecke oft  
wechselnde Textur der Blätterung halten. Da sich an Oberflächen-  
proben keine Zuordnung von Aspekten zu bestimmten Texturen  
ergab, bleibt nur übrig, einzelne solcher Proben als Beispiele für  
viele zu vermerken.

Tabelle I.

Einzelproben aus dem Zungenendgebiet des Großen Aletschgletschers.

Probe Nr.	Höhe ü. M.	Korngröße in cm	Beimischungen	Fichte	Tanne	Föhre	Zirbe	Hasel	Birke	Erle	Buche	Eiche	Linde	Ulme	Weide
4	1910	1—3	etwas	114	4	78	18	12	3	13	2	11	0	0	1
7	1900	1	wenig	64	2	54	6	2	0	8	0	4	1	4	2
9	2100	1	sehr wenig	60	9	39	30	3	1	4	0	2	0	0	2
44	1860	2—5	wenig	68	8	64	32	12	1	8	0	4	0	4	4
Prozentuales Gesamtspektrum (Aletsch):				28	2	39	12	4	2	7	+	3	+	1	1

Tabelle II.

Proben aus zwei senkrechten Profilen des Zungenendteils  
des Großen Aletschgletschers.

Probe Nr.	Profil	Korngröße in cm	m unter Oberfläche	Bei- mischungen	Fichte	Tanne	Föhre	Zirbe	Hasel	Birke	Erle	Buche	Eiche	Linde	Ulme	Weide
29	I	2—8	0,5	wenig	33	3	27	24	3	6	12	0	6	0	0	3
30		2—3	1,0	wenig	22	4	72	57	2	5	5	0	5	0	2	2
31		2—6	1,8	viel	18	1	49	14	8	3	6	0	3	0	0	2
32		2—6	2,5	wenig	14	0	39	21	4	8	19	0	5	2	0	2
36	II	1—3	1,0	fast keine	18	2	60	26	3	1	6	0	2	0	1	6
37		1—4	1,5	fast keine	20	0	66	32	0	1	4	0	2	0	0	2
38		1—4	2,2	fast keine	46	2	110	36	4	4	6	0	1	0	4	1
39		1—3	3,0	fast keine	66	0	88	30	8	4	26	0	8	2	6	7
40		1—3	3,6	wenig	56	0	112	32	8	1	14	1	8	2	2	1
41		1—3	4,1	sehr wenig	28	0	64	20	8	2	14	0	4	0	4	4

Tabelle I gibt die Pollenaspekte von vier verschiedenen Ein-  
zelproben aus dem Zungenendgebiet. Probe Nr. 4 stammt aus Eis  
nahe der linken Seitenmoräne bei 1910 m. Sie ist pollenreich.  
Der Aspekt läßt sich jedoch jahreszeitlich nicht festlegen. Schon

daß 12 Haselpollen mit den 18 Zirbenpollen im Kubikdezimeter Eis zusammen vorkommen, daß sich eine auffallend hohe Zahl Eichenpollen mit einer auffallend hohen Zahl Fichtenpollen zusammenfindet, läßt keine jahreszeitliche Bestimmung zu. Probe Nr. 7 ist nahe Probe 4 entnommen, entstammt aber nicht der Oberfläche, sondern dem Grundeis des Gletschers. Eine in eine weite Eishöhle auslaufende Randkluft ermöglichte das Eindringen an der Gletschersohle. Das aus dem Hangenden entnommene Eismaterial ergab einen ähnlichen Pollenaspekt, wie Probe 4. Die absolute Zahl der Pollen ist zwar etwas geringer, die Frühjahrs-

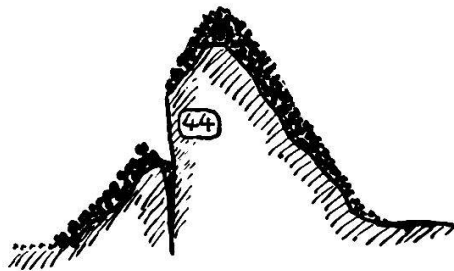


Abb. 51. Querschnitt durch die Mittelmoräne im Zungenendgebiet:  
Entnahmestelle der Probe 44.

pollen der Hasel etwas spärlicher, sie sind aber dafür durch die fast gleichzeitig zu datierenden Ulmenpollen ersetzt, so daß auch hier wieder neben den Spätpollen (Zirbe, Linde) die Frühpollen stehen. Die Buche fehlt hier. Probe 9 stammt von der rechten Gletscherseite, die nahe Zenbächen einen fast spaltenlosen, flachen Eisboden bildet. Das Bild ist in großen Zügen wieder dasselbe. Nun Probe 44, die von der Mittelmoräne stammt. Wie Abb. 51 zeigt, ist dort an einer Längsspalte, die der Moräne parallel läuft und sie in zwei Teile teilt, eine Art Verwerfung aufgetreten, die eine großkörnige, wenig verunreinigte Eiswand freilegte. Dort wurde in größerer Tiefe die Probe entnommen. Auch dieses Beispiel zeigt in großen Zügen wiederum genau dasselbe Bild. Man könnte diese Beispiele noch beliebig vermehren. Es würde nichts Neues mehr hinzukommen: Die Proben variieren zwar etwas in der Gesamtzahl der Pollen pro Kubikdezimeter Eis im Vorhandensein oder Fehlen seltenerer Pollen (*Fagus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Castanea*), das Verhältnis der häufigeren Pollen jedoch bleibt nahezu konstant. In der letzten Rubrik der Tabelle I ist ein Ge-



samtspektrum aus allen Teilen des Aletsch, berechnet aus 4300 Pollen, in Prozenten wiedergegeben\*.

Der Vergleich mit unseren Einzelproben zeigt, daß es sich nahezu um dieselben Verhältnisse handelt. Das Gesamtspektrum kann als durchschnittliches Bild einer oder mehrerer Vegetationsperioden aufgefaßt werden und die genannten Einzelproben geben ebenfalls keine einzelne Jahreszeitschicht wieder, sondern geben gleichsam ein auf kürzere Zeit beschränktes Gesamtspektrum. Vereinzelte Abweichungen gehen nicht über das hinaus, was man als Zufälligkeiten werten kann. Nur drei Gesetzmäßigkeiten lassen sich in diesem Teil des Gletschers noch feststellen:

1. In groben Zügen bleibt der Aspektcharakter der einzelnen Teilströme auch hier noch erhalten. So lassen sich die im Eis des mittleren Aletschgletschers besonders häufigen *Epilobium*pollen, die sonst im Aletscheis sehr selten sind, noch bis gegen die Einmündung des Triestbaches nachweisen, und die an Zirbenpollen etwas reicheren Eismassen des Jungfrauteils gegenüber denen des Ewigschneeteils kommen noch zum Ausdruck, wenn man in einer Meereshöhe von 2100 m Eis von diesseits und jenseits der hier schon etwas undeutlichen Trugbergmoräne vergleicht.

2. Der prozentuale Anteil der Zirbenpollen ist hier deutlich geringer als im Ogiventeil des Gletschers. Zweifellos stammt ein Großteil der Zirbenpollen des Großen Aletschgletschers aus dem direkt über dem Zungenende desselben gelegenen Aletschwaldes. Da war es mir zunächst auffallend, daß gerade in der Nähe dieses Waldes der Zirbenpollengehalt nicht zu- sondern abnahm. Abb. 52 zeigt nun den Anteil der Zirbenpollen am Gesamtpollen aus verschiedenen Teilen des Jungfrauteilstroms. Je weiter wir uns vom Aletschwald entfernen, um so größer ist der Anteil an Zirbenpollen. Man würde zunächst daran denken, daß diese Vermehrung der Zirbenpollen nach oben hin vom Zustrom solcher Pollen aus dem Lauterbrunnental handeln würde. Abgesehen von der meteorologischen Unwahrscheinlichkeit größerer Pollentransporte aus dem Lauterbrunnental, die auch aus dem Gesamtspektrum des Aletsch nicht wahrscheinlich gemacht werden kann, ist

---

\* Das bereits früher (Vareschi, 1935) veröffentlichte Gesamtspektrum geht auf etwas geringeres Zahlenmaterial zurück und weicht daher unbedeutend von den hier genannten Werten ab.

die Zahl der dort wachsenden Zirben so gering\*, daß dadurch dieses Steigen der Zirbenprocente nicht erklärt werden kann. Dazu kommt noch, daß die oberste Probe Nr.7, die dem Lauter-

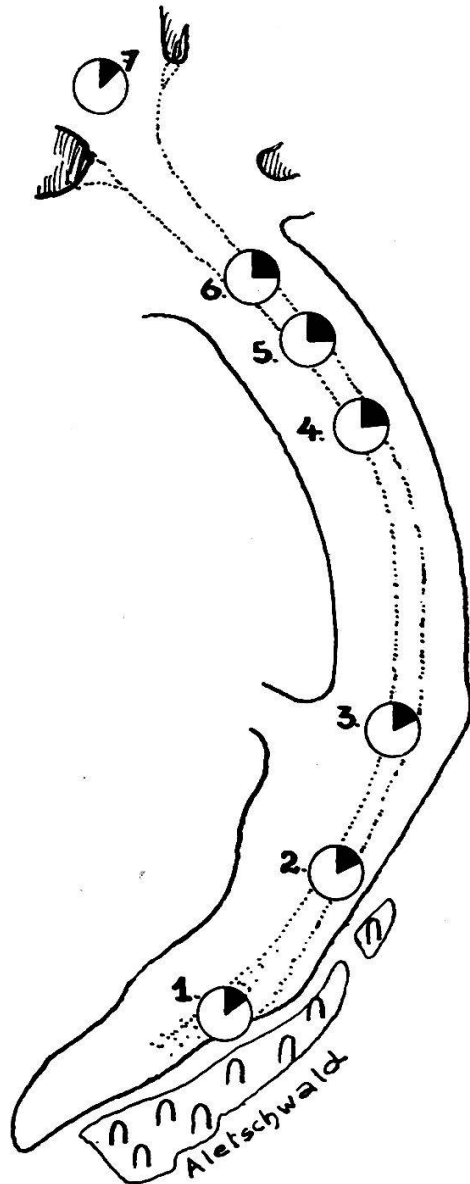


Abb. 52. Anteil der Zirbenpollen am Gesamtspektrum in verschiedener Entfernung vom Aletschwald. Jede der hier mit 1—7 bezeichneten Proben geht auf eine größere Anzahl Einzelproben zurück.

brunnental am nächsten liegt, die bisher steigenden Zirbenwerte nicht mehr fortsetzt, sondern etwas weniger Zirbenprocente er-

---

\* Die von mir (1935) geschätzten Zahlen der Verteilung der einzelnen Holzarten in der weiteren Umgebung des Aletsch geben für das Zirben-vorkommen im Lauterbrunnental, nach Mitteilung von Dr. W. Lüdi, eher noch zu hohe Zahlenwerte als zu niedrige.

gibt als die nächst tieferen Proben. Die Deutung dieser Tatsache wird im nächsten Abschnitt versucht werden.

Die Frage, ob, abgesehen von diesen Einzelproben, auf kleinem Raum nicht doch eine gewisse gesetzmäßige Veränderung der vorgefundenen Aspekte festgestellt werden könnte, wurde durch mehrere Profile geprüft. In Tabelle II ist das erste Profil senkrecht zur Bänderung nahe dem Gletschertor geführt, das zweite ist an einer Spaltenwand senkrecht zur Gletscheroberfläche angelegt, ohne Berücksichtigung irgendeiner Gletschertextur, von der an dieser Stelle auch nichts wahrgenommen werden konnte. Die Zahlen beider Profile zeigen denselben Charakter wie die Einzelproben: Ein mehr oder weniger zufälliges Variieren der häufigen Pollen und ein gelegentliches Fehlen der seltenen. Auch in der scheinbar so gesetzmäßigen Abnahme des Gehaltes an Fichtenpollen bei zunehmender Tiefe von Profil I kann ich nur eine Zufälligkeit erblicken, da diese Abnahme durch keine sinngemäß entsprechende Mengenänderung einer anderen Pollenart begleitet wird. Nur Probe 37 des zweiten Profils weicht von dem allgemeinen Typus etwas ab. Die Zirbenpollen sind hier besonders zahlreich, Hasel fehlt und die anderen Frühpollen (Birke, Erle, Eiche) sind nur in geringer Anzahl vorhanden, Ulme fehlt. Hier ist also ein etwas verunreinigter, jahreszeitlich späterer Aspekt noch erkennbar. Eine aspektstratigraphische Beziehung dieser angedeuteten Jahreszeit zu den Proben 36 (darüber) und 38 (darunter) besteht nicht.

Nachdem diese Analysen, die auf Proben zurückgehen, die in den ersten Jahren der Freilandarbeit gewonnen wurden, offenbar nichts wesentlich Neues gegenüber den zahlreichen Einzelproben erbrachten, wurde von der Entnahme weiterer Proben aus dem Zungenendgebiet abgesehen. Die bisher gewonnenen Proben aus diesem Gletscherteil wurden jedoch ergänzt durch ein großes Profil, das im Gebiet des Gepatschgletschers nahe dem Zungenende gewonnen wurde.

3. Die dritte Gesetzmäßigkeit endlich besteht darin, daß — sofern man die S. 41 bezeichneten Vorsichtsmaßregeln anwendet, kaum einmal Proben ohne Pollen oder auch nur solche mit nur ganz wenigen Pollen gefunden werden. Der Pollengehalt der einzelnen Proben nähert sich hier größenordnungsmäßig fast stets dem für den ganzen Aletschgletscher ermittelten Durchschnitts-

wert von 350 Pollen pro 1 dm<sup>3</sup> Eis. Einzelne Proben weisen eine Pollenfrequenz von nur 50 Pollen, andere von bis 2000 Pollen auf. Extreme Werte von 4000—5000 Pollen oder 0—20 Pollen, wie sie im Firn- und Ogivengebiet noch häufig gefunden werden, kommen im Zungenendgebiet kaum mehr vor.

Einzelne Stichproben haben gezeigt, daß das Zungenendgebiet bzw. der dort vorgefundene Pollenaspekt zwar im Gebiete der Ogiven seine obere Grenze findet, jedoch rechts und links der Ogivenzone im Gebiet nahe der Seitenmoränen weit gletscherwärts bis nahe an den Konkordiaplatz, also bis zur Firnlinie hinaufreicht.

### **27. Profil senkrecht zur Bänderung aus einer Querspalte im Zungenendgebiet des Gepatschferners.**

Zur Ergänzung der am Aletschgletscher vom Zungenendgebiet gewonnenen Analysen wurde an einer entsprechenden Stelle des Gepatschferners bei 2150 m auf der linken Gletscherseite, etwa 1,5 km oberhalb des Gletschertores, ein Profil entnommen. Die ursprüngliche Firnschichtung ist hier nirgends mehr erkennbar. Das Eis ist auf dem Weg von der Firnmulde über den Gletscherbruch beim Rauhen Kopf hierher gelangt und ist beim Profilpunkt als schwach geneigter Talgletscher zu bezeichnen. Die im Eis hier auffälligste Struktur ist eine enge Blätterung, die sich an der Gletscheroberfläche jedoch nicht mehr als Pflugfurcheneis heraushebt. Die Blätter sind parallel zur Gletscherachse von oben außen nach unten innen geneigt. Das Profil wurde senkrecht zur Bändertextur gelegt (Abb. 53).

In der graphischen Darstellung Abb. 54 ist das geneigte Profil senkrecht gezeichnet. Probe 102 ist daher nicht 16 m, sondern nur etwa 12 m unter der Oberfläche entnommen. Leider sind die untersten Proben in zu großen Abständen entnommen worden, so daß die Eislagen etwa bis 11 m hinab beurteilt werden können. Die unterste Probe stammt nicht mehr aus Eis, sondern aus an dieser Stelle auftauchendem Grus einer Innenmoräne, dessen Pollengehalt in relativen Werten (die Menge pro 1 dm<sup>3</sup> Material war hier nicht feststellbar) in der Darstellung von Abb. 54 angegeben ist.

Die Analysen ergaben folgendes:

1. Eine genaue Datierung, d. h. Zuordnung der Pollenaspekte

zu bestimmten Jahreszeiten ist nicht möglich. Immerhin läßt sich hier doch noch durch die deutlich verschiedene Dominanz von bestimmten Pollengruppen eine freilich nur lockere Beziehung zu den in der Abbildung mit Fragezeichen versehenen Jahreszeiten vermuten. Um mehr jedoch handelt es sich dabei nicht, wie schon

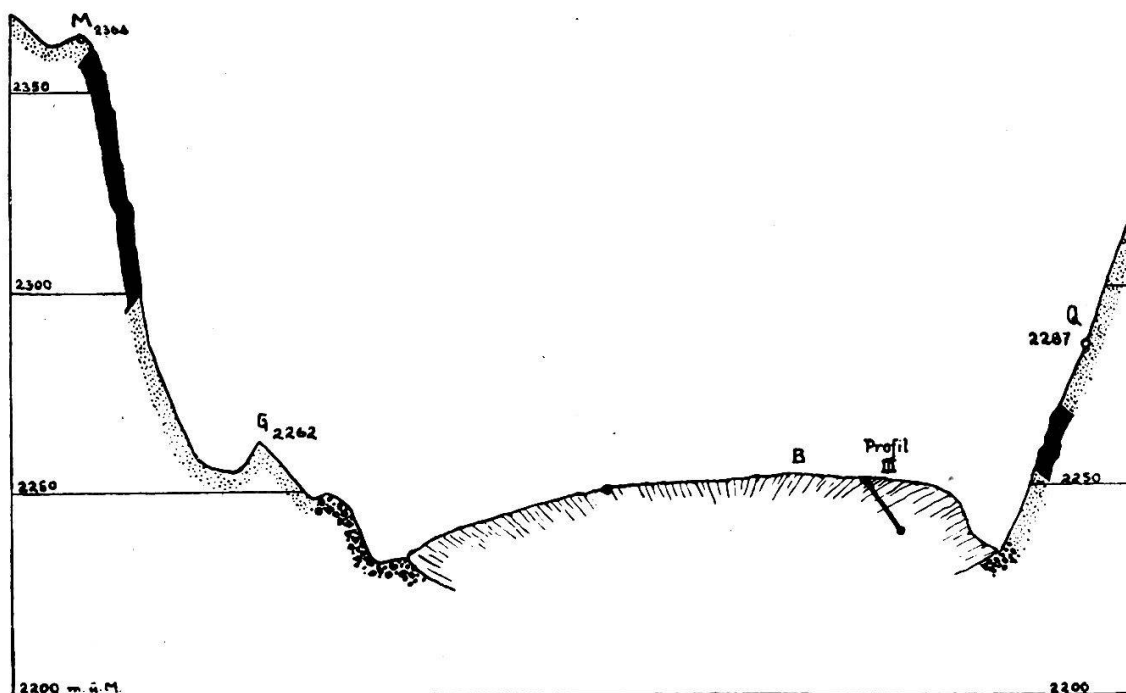


Abb. 53. Querprofil durch die Zunge des Gepatsch-Ferners mit dem Pollenprofil, gezeichnet nach der Karte von Finsterwalder und Schunk. M, Q = Fixpunkte der Karte; feine Punkte = Rohböden; grobe Punkte = Blockmoränen; schwarz = Fels; Schraffen = Eis. Die Schraffen sind entsprechend der Blätterstruktur angeordnet. B = Zone der schnellsten Bewegung. Maßstab 1 : 10 000, viermal überhöht.

allein die Tatsache belegt, daß in 11 Proben Haselpollen mit Zirbenpollen zusammen konstatiert wurden. Auch sind in den dem April (?) zugeschriebenen Proben 90 und 95 Fichten- und Zirbenpollen enthalten. Eine irgendwie deutbare Beziehung übereinanderliegender Aspekte ist nicht feststellbar.

2. Pollenfreie Proben oder Proben, die weniger als 75 Pollen im Kubikdezimeter Eis enthalten, fehlen.

Der verschwommene Aspektcharakter zeigt, daß sich hier dieselben Verhältnisse vorfinden wie im Zungenendteil des Aletschgletschers. Der Unterschied ist nur ein gradueller, weil hier das Aspektbild noch nicht ganz unkenntlich gemacht ist, während am Aletsch nur mehr sogenannte Ganzjahresspektren vorgefunden wurden.



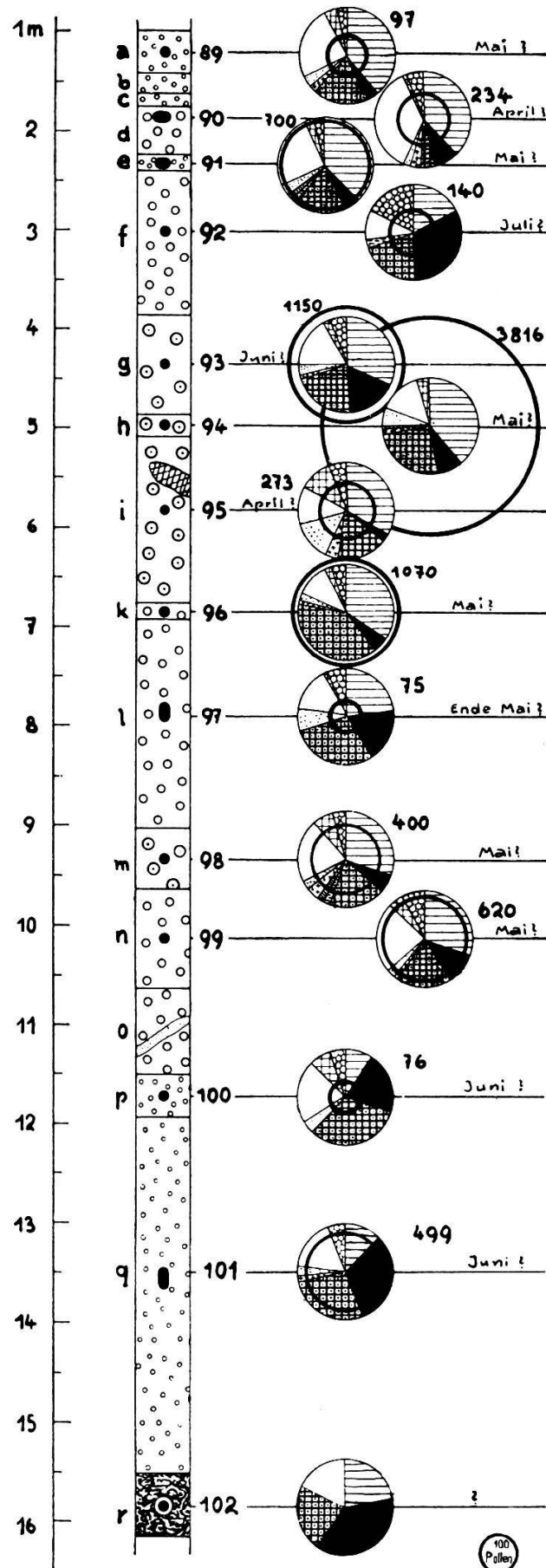


Abb. 54. Diagramm eines Profils quer zur Bänderung im Zungengebiet des Gepatsch-Ferners.

## 28. Folgerungen aus dem Aspektcharakter des Zungenendteils.

Haben bisher die positiven Resultate der Beziehungen zwischen Eistextur und Pollenaspekt einen Anhalt für die Art der Gletscherbewegung gegeben, so muß jetzt die an sich negative Feststellung, daß solche Beziehungen im Zungenendgebiet nicht mehr feststellbar sind, im selben Sinne verwertet werden.

Die Verwischung der ursprünglich vorhandenen Aspekte muß auf Differenzialbewegungen im Eise zurückgeführt werden. Ebenso deutet das Fehlen wirklich pollenarmer bzw. pollenfreier Winterschichten darauf hin, daß eine Vermischung der Eismassen in durchgreifender Art stattgefunden haben muß. Die Tatsache, daß der allgemeine Charakter des Pollengehaltes, soweit er sich für einzelne Teilströme des Aletsch festlegen läßt, auch im Zungenendgebiet erhalten bleibt, zeigt, daß diese Differenzialbewegung nicht zu einer Vermischung der Eismassen in Richtung quer zur Strömungsrichtung stattgefunden haben kann. Die Vermischung muß also auf Bewegungsdifferenzen in der Strömungsrichtung zurückgeführt werden, das heißt, daß auch hier noch in groben Zügen ein Fließen im Sinne der Stromlinien stattfindet, nur ist es kein stationäres und stetiges Fließen mehr.

Der prozentuale Anteil der Zirbenpollen (Abb. 52) in verschiedenen Teilen des Jungfrauteilstroms deutet dieselben Verhältnisse an. Ein Blick auf Abb. 1 erklärt diese Zunahme der Zirben mit Entfernung vom Aletschwald. Der bei W angenommene Wald bestreut die ganze Gletscherfläche mit Pollen. Die nächstliegenden Teile am dichtesten, die entferntesten Teile am spärlichsten. Der bei a und b sedimentierte Pollen bleibt oberflächlich liegen oder wird abgeschwemmt. Die Eisproben bei a jedoch zeigen den Pollenregen, der bei A, also sehr weit vom Wald entfernt, niederfiel, infolgedessen relativ wenig Pollen dieses Waldstückes enthält. Die Eisprobe bei b stammt von B, enthält also bereits etwas mehr Zirbenpollen. Am meisten enthält eine Eisprobe, die bei c entnommen wurde, denn sie stammt von dem, dem Waldstück im Firnteil nächstgelegenen Punkt C, der mit mehr Zirbenpollen bestreut wurde als B. Die zunächst so widersprechende Zirbenpollenbestreuung des Aletsch gegen den Konkordiaplatz zu in zunehmender statt abnehmender Menge erklärt sich somit zwanglos im Sinne der Finsterwalderschen Stromlinientheorie, deren Gültigkeit freilich hinsichtlich der feineren Komponenten der

Bewegung hier im Sinne einer sprunghaften Geschwindigkeitsänderung eingeschränkt werden muß. Wie groß die Massen sind, innerhalb derer Differentialbewegungen wirksam werden, läßt sich pollenanalytisch nicht feststellen. Nur soviel ist sicher, daß dabei Verschiebungen stattfinden, die so weit gehen, daß die ursprüngliche Übereinanderlagerung von jahreszeitlich bestimm-  
baren Schichtteilen zerstört ist. Das Maß der Bewegungsdifferenzen, das durch die Regelation, durch Differenzen von Korn zu Korn auftreten kann, wird dabei wahrscheinlich wesentlich überschritten.

Durch die große Zahl von Proben aus dem Mittelteil der Zunge des Aletschgletschers ist es möglich geworden, den Übergang zwischen Zungenendgebiet und Ogivengebiet weitgehend zu klären. Nach den für den heutigen Verlauf der Zonen festgestellten Oberflächentexturen und dem oberflächlich ermittelten Aspektcharakter wurde in der halb schematischen Abb. 55 dieser Übergang für den in Abb. 13 dargestellten Ausschnitt des Siegfriedatlases eingetragen. Dabei bedeuten die Signaturen 1—4 gleichzeitig ein topographisches und ein aspektstratigraphisches Charakteristikum, und zwar:

Signatur von Abb. 55:	Eistopographie:	Aspektcharakter:
1	Ogivensysteme	Jahresschichten in ursprünglicher Lagerung nachweisbar.
2	Pflugfurcheneis	Einzelne jahreszeitlich bestimmte Eisteile in veränderter Lagerung
3	Eis des Zungenendgebietes, gebändert oder ohne deutliche regelmäßige Textur	Aspektcharakter nicht mehr erhalten
4	Eis des Mittleren Aletschgletschers	Durch den Gehalt an zahlreichen Epilobiumpollen vom Eis des Hauptstromes verschieden
5	(nicht bearbeitete Gletscherteile)	

Man erkennt beim Vergleich mit den Kartensignaturen auf unserer schematischen Skizze zunächst die fünf Ogivensysteme: Im Westen ein nur zum Teil erfaßtes System, das dem Aletsch-

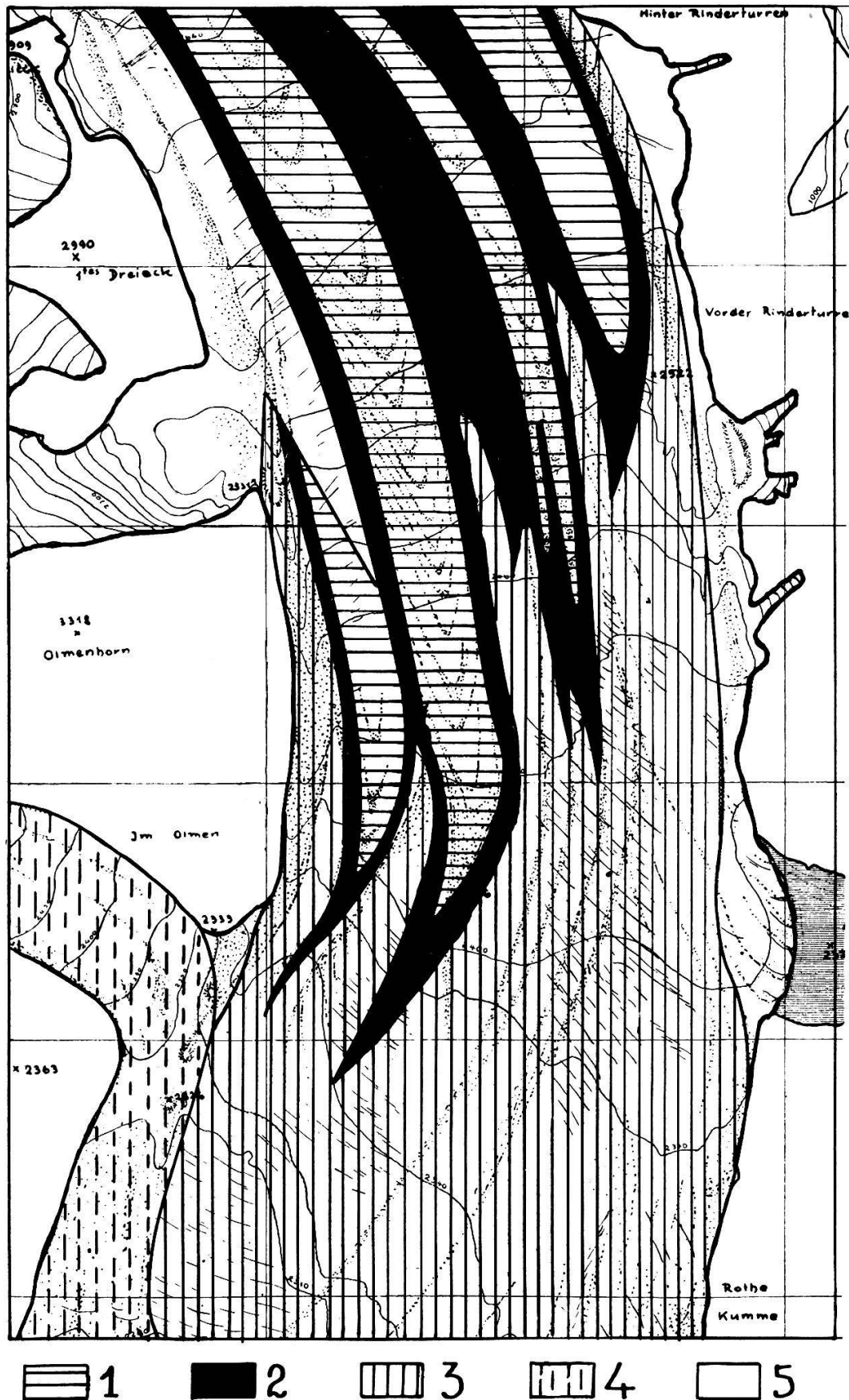


Abb. 55. Mittelteil der Zunge des Aletschgletschers. Nach beendeter Untersuchung gliedert sich die Eismasse in Gebiete, in denen die ursprüngliche Lagerung der Firnschichten noch erhalten ist (Ogivenzone, 1), in benachbarte Zonen, in denen der kontinuierliche Zusammenhang der an sich noch kenntlichen Aspektcharaktere bereits gelöst ist (Pflugfurcheneis, 2) und in ein Gebiet mit vollkommen durchmischten Eismassen (Zungenende, 3). Das Eis des Mittleren Aletschgletschers hebt sich durch den Gehalt an Epilobiumpollen auch nach dem Zusammenfluß mit dem Hauptstrom noch heraus (4), einige Randgebiete und Seitengletscher sind nicht untersucht worden (5).

hornteil des Aletschteils zugeordnet werden muß. Dann gegen Osten hin: Aletschteil, Jungfrauteil, der sich gegen Süden in Rottalhornteil und eigentlichen Jungfrauteil teilt, schließlich im Osten abschließend den Ewigschneeteil. Diese Ogivensysteme sind wie eingerahmt von Pflugfurcheneis, das gletscherabwärts zungenförmig noch weiter als die Ogivensysteme herabreicht. So kommt es zu der Verzahnung mit dem aspektstratigraphisch nicht mehr charakterisierten Eis des Zungenendteils, das bald nach der Einmündung des Mittleren Aletschgletschers die ganze Breite der Zunge einnimmt. Letzteres Eis ist durch seinen Gehalt an Epi-lobiumpollen deutlich vom Aletscheis selbst verschieden. Man kann dadurch auch dort, wo die Trennung des Eises verschiedener Herkunft durch die verwaschene Moränenzeichnung nicht mehr sicher möglich ist, diese Trennung pollenanalytisch noch vornehmen.



### III. Abschließender Ausblick.

#### 29. Der Beitrag der Pollenanalyse zur Kenntnis der Gletscherbewegung.

Mit der pollenanalytischen Charakterisierung des untersten Zungenteils der Gletscher ist unsere Untersuchung der Gletscherbewegung zu einem vorläufigen Abschluß gekommen. Wir fassen die Ergebnisse noch einmal kurz zusammen:

1. In der Pollenanalyse von Gletschereis wurde eine Methode gewonnen, die es ermöglicht, unbehelligt von den zahlreichen Gletscherbewegungstheorien, auf empirischer Grundlage zu einwandfreien Resultaten zu kommen. Dabei beziehen sich diese Resultate nicht auf die Ursachen, sondern nur auf die Art und Weise der Gletscherbewegung. Aufgabe der Gletscherforschung ist es nun, die Erklärung zu finden, warum sich der Gletscher gerade so bewegt, wie es pollenanalytisch erschlossen wurde.

2. Die beiden großen Gletschertheorien von Finsterwalder und Philipp, die Stromlinien- und die Scherungstheorie, die heute im großen und ganzen die vorhandenen Lehrmeinungen über das «Wie» der Gletscherbewegung zusammenfassen und die sich scheinbar aufs äußerste widersprechen, gaben der Pollenanalyse ihre Hauptaufgabe. Dabei zeigte sich, daß die Hauptursache dafür, daß sich für beide Theorien gleichmäßig Belege in der Natur auffinden ließen, in der Tatsache besteht, daß sich die Bewegung des Eises in verschiedenen Teilen grundsätzlich verschieden abspielt. An der Gletscheroberfläche des Firngebietes und des oberen Teils der Zunge konnte ein Fließen nach Stromlinien nachgewiesen werden; mit Ausnahme des Gebietes in der Nähe der Moränen, wo ebenso wie im Zungenendgebiet Differentialbewegungen nachgewiesen wurden, die den Voraussetzungen Philipps entsprechen. Der Ort, wo sich diese Scherungen abspielen, kann jedoch nicht die Gletscheroberfläche sein, wo ja auch alle Ablesungen der Steinreihen, die im Laufe ihrer Ausbiegung nirgends sprunghafte Geschwindigkeitsänderungen erkennen lassen, dagegen sprechen, sondern muß in der Gletschertiefe gesucht werden. Was wir auf der Gletscheroberfläche als bereits erfolgte Vermischung aller ursprünglichen Schichtungen feststellen, ist die Folge von Differentialbewegungen, die sich in

der Gletschertiefe bereits vor dem Auftauchen der Eismassen im Ablationsgebiet vollzogen haben.

Ich bin überzeugt, daß viele Erscheinungen, die in den uns zugänglichen Teilen des Gletschers zu beobachten sind, früher oder später ihre Erklärung in den in der Gletschertiefe sich abspielenden Vorgängen finden werden. So sind z. B. die Untergrundverhältnisse des Konkordiaplatzes ebensowenig allein aus den Verhältnissen der Gletscheroberfläche zu erklären wie die S. 122 erwähnten Eistäler, die ohne gewaltige Massenverschiebungen im Gletscherinneren nicht in der Art eingebrochen sein könnten. Daß sie in Zusammenhang mit der Eisbewegung gebracht werden müssen, erhellt übrigens daraus, daß sie zunächst strahlenförmig an der Biegungsstelle nach gletscherauswärts angelegt sind und sich dann im Verlauf der Weiterbewegung in Richtung des Gletscherfließens einstellen. Beobachtungen an anderen großen Gletschern über entsprechende Erscheinungen wären hier sehr nötig.

Einen weiteren Hinweis auf Vorgänge im Gletscherinneren gibt uns der Märjelsee. Zunächst können die Ausbrüche des Sees, die besonders vor der Grabung des Stollens (siehe S. 124) oft verheerend gewirkt haben, damit im Zusammenhang stehen. Dann aber ist vor allem das Kalben sehr eigentümlich. Neben dem Kalben von der über die Fläche des Sees aufragenden Eiswand kommt noch ein Kalben unter der Wasseroberfläche — nach den Mitteilungen verschiedener Autoren sogar häufiger als von oben — vor. Am 14. August 1935 war ich mit meinen Mitarbeitern Zeuge des Kalbens: «Man hört zunächst einen harten Krach. Der See wirft in der Nähe der Eiswand Wellen auf, die schwimmenden Eisschollen schlagen laut aufeinander. In den ersten Augenblicken ist die Ursache nicht zu sehen. Erst nach ein paar Sekunden taucht das «Kalb», ein glänzendblauer Eisblock von etwa dreißig Kubikmeter Masse wasserrauschend auf; er fährt zunächst einige Dezimeter hoch über seine spätere Schwimmlage hinaus und stellt sich dann, immer träger schaukelnd, auf die Wasserlinie ein. Inzwischen haben die ersten Kalbungswellen das Ostufer des Sees erreicht und fahren dort laut rauschend zwischen die zahlreichen gestrandeten Eisbrocken.»

Auch dieser Vorgang (wörtlich nach dem gleich nach der Beobachtung erfolgten Tagebucheintrag wiedergegeben) deutet auf Vorgänge in der Gletschertiefe hin, die von denen an der Ober-

fläche verschieden sind. Die Eiswand verläuft nämlich, soweit man in die Tiefe sehen kann, völlig senkrecht ins Wasser. Das Kalben von unten deutet aber darauf hin, daß in größerer Tiefe das Eis vorgeschoben wird, bis es dann infolge seiner Leichtigkeit abbricht und auftaucht. Also am Grunde eine andere Eisbewegung als an der Oberfläche!

Der Grund, warum Philipp für seine Scherungstheorie immer nur vereinzelte Beobachtungen, nie aber Vermessungen von Scherungsvorgängen größeren Ausmaßes erbringen konnte, ist ebenfalls darin zu suchen, daß uns der Ort dieser Scherungsbewegungen verborgen bleibt. Verborgен, möglicherweise deshalb, weil er an Druckverhältnisse gebunden erscheint, die an der Eisoberfläche nicht gegeben sind.

3. Unbeschwert von allen Theorien, stellt sich nach den pollenanalytischen Ergebnissen die Gletscherbewegung folgendermaßen dar: Der Niederschlag ergibt in den großen Firnbecken ein nach Witterungsperioden schichtweises Zuwachsen. Diese geschichteten Eismassen bewegen sich unter Wahrung ihres Aufbaus talwärts. Scherungsbewegungen finden dabei nicht statt. Unterhalb der Firnlinie kommen die im Firnbecken abgelagerten Jahresschichten wieder ans Licht. Die Abschmelzung erfolgt dabei so, daß bei manchen Gletschern das schichtweise Ausstreichen von Sommer- und Winterschichten in Form von Ogiven oder anderen «Schmelzfiguren» schon mit freiem Auge beobachtet werden kann. Die Natur dieser Ogiven als Jahresschichten ist pollenanalytisch erwiesen.

Diese hier geschilderte Bewegungsart gilt jedoch nicht für die ganze Breite des Gletschers. Schon die von den Rändern der Firnbecken auf den Gletscher niedergehenden Lawinen bringen an der Peripherie der Becken Firnlagen von ungeschichteter, aspektstratigraphisch nicht faßbarer Art zur Ablage. Diesen Rändern der Becken entsprechen im weiteren Verlauf der Bewegung die den Seitenmoränen zunächst gelegenen, randlichen Teile der Zunge, über die pollenanalytisch daher kein Aufschluß zu erwarten war. Ebenso ändert sich die Bewegungsart der Ogiven der einzelnen Teilströme gegen die zugehörigen Mittelmoränen zu, weil dort Eis von derselben Art zu liegen kommt, wie längs der Seitenmoränen. Zwischen diesen aspektstratigraphisch nicht faßbaren Streifen bei den Mittelmoränen und den eigentlichen Ogi-

Signaturen der Profilbänder:	Signaturen der Karten der Gletscheroberfläche	Pollensignaturen der Diagramme
	Buckeleis	Hasel ( <i>Corylus</i> )
	Übergang vom Buckeleis zum Pflugfurcheneis	Erle ( <i>Alnus viridis</i> , <i>A. incana</i> , <i>A. glutinosa</i> )
	Pflugfurcheneis	Ulme ( <i>Ulmus</i> )
	Moräne	Eiche ( <i>Quercus pedunculata</i> , <i>Q. sessiliflora</i> )
	Ogive, Schmutz- bänderung	Weiden (verschiedene Arten von <i>Salix</i> )
	Spalte	Buche ( <i>Fagus silvatica</i> )
	Spaltennaht	Föhre ( <i>Pinus silvestris</i> , <i>P. montana</i> )
	Schneefleck	Tanne ( <i>Abies alba</i> )
	Sogen. Schlierenbogen	Fichte ( <i>Picea excelsa</i> )
		Zirbe, Arve ( <i>Pinus cembra</i> )
		Linde ( <i>Tilia platyphyl- los</i> , <i>T. cordata</i> )
		Birke ( <i>Betula pubescens</i> , <i>B. pendula</i> )

Abb. 56. Übersicht der in den Profilen, Karten und Diagrammen verwendeten Signaturen.

venfeldern, liegt eine Zone in der sich mehr oder weniger steil gestellte Eistafeln, die in sich ihren Zusammenhang und damit ihren Aspektcharakter als Teile einer bestimmten Jahreszeitschicht wahren, nebeneinander und aneinander vorbeibewegen bzw. vor ihrem Auftauchen bewegt haben.

Es sind also Differentialbewegungen im Sinne Philippps gerade in diesen Teilen des Gletschers als bewiesen anzusehen. Ob nun der unterste Teil des Gletschers, in dem keinerlei sichere Aspektzuordnung von Eisteilen mehr möglich war, durch fortgesetzte Differentialbewegungen von immer neu abgegrenzten Eistafeln seine ursprüngliche Struktur verloren hat, ist pollenanalytisch nicht festzustellen. Ich möchte die Vermutung aussprechen, daß die Massenteile, die die Träger von Differentialbewegungen sind, um so kleiner werden, je tiefer sie im Gletscher gelagert sind und je näher sie den stärksten Druckzonen im Gletschereis kommen. Damit steht ja auch die Tatsache, daß sich die Tafeln der Pflugfurcheneiszone gegen die Mittelmoränen zu immer mehr verdünnen und immer weniger scharf abgrenzen, in Zusammenhang.

Wenn auch das «Wie» der Gletscherbewegung somit in großen Zügen erfaßt werden konnte, so bin ich mir doch bewußt, daß damit nur ein erster Anfang geleistet werden konnte. Der Befund am genau beobachteten Gletscher wird die Forschung immer aufs neue vor Probleme stellen, die einer pollenanalytischen Lösung zugänglich sind. Schließlich wird in der kausalen Erfassung der einmal erkannten Gletscherbewegung die Aufgabe vor uns liegen, das «Gletscherrätsel» endlich endgültig aus der Reihe der großen naturwissenschaftlichen Probleme zu streichen und an seine Stelle ein festgefügttes Wissen um Gesetzmäßigkeiten zu setzen, die die berühmten 80 Gletscherbewegungstheorien nur mehr als ein in der Geschichte der Wissenschaft interessantes Kuriosum erscheinen lassen.



## Erwähntes Schrifttum.

- Agassiz, L.: Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, Paris, 1847.
- Altman, J. G.: Versuch einer historischen und physischen Beschreibung der Helvetischen Eisberge. Zürich, 1751.
- Auer, V.: Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. Comm. ex inst. quaest. forest. Finlandiae 12, 1927.
- Beaumont, E. de: Influence du froid extérieur sur la formation des glaciers. Bibl. univ. Genf, 1842.
- Bertin, R.: Comptes rendus, 1866.
- Bertsch, K.: Der deutsche Wald im Wechsel der Zeiten, Wald- und Klimageschichte Deutschlands von der Eiszeit bis zur Gegenwart. Biologie in Einzeldarstellungen 1. Tübingen, 1935.
- Billwiler, R.: Der Walliser Talwind. Annal. Schweiz. Meteorol. Zentralanstalt 1913. Zürich, 1914.
- Berichte der Gletscherkommission der Physikal. Ges. Zürich. Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich 67. Zürich, 1922.
- Bisely: Gilb. Annal. 64, 1830.
- Blümke, A., und Heß, H.: Nachmessungen am Vernagt- und Guslarferner. Wissensch. Ergänzungshefte z. Zeitschr. d. D. u. Ö. A. V. 1, 1897.
- Einiges über den Vernagtferner. Mitt. d. D. u. Ö. A. V., 1902.
- Bonaparte, R., Prince: Le glacier de l'Aletsch et le lac de Märjelen. Paris, 1889.
- Braun-Blanquet, J., und Jenny, H.: Vegetationsentwicklung in der alpinen Stufe der Zentralalpen, mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Schweizerischen Nationalparkgebiet. Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. 63. Zürich, 1926.
- Charpentier, J. von: Essai sur les glaciers. 1841.
- Crammer, H.: Zur Entstehung der Blätterstruktur der Gletscher aus der Firnschichtung. Zeitschr. f. Gletscherkunde 2. 1907.
- Defant, A.: Über die nächtliche Abkühlung der untersten staubbeladenen Luftschichten. Annal. Hydrog. 47. Berlin, 1919.
- Erdtman, G.: Neue pollenanalytische Untersuchungsmethoden. Ber. Geobot. Forschungsinst. Rübel 1935. Zürich, 1936.
- Finsterwalder, S.: Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessungen in den Jahren 1888—1889. Wissensch. Ergänzungshefte z. Zeitschr. d. D. u. Ö. A. V., 1897.
- Firbas, F.: Über einige hochgelegene Moore Vorarlbergs und ihre Stellung in der regionalen Waldgeschichte Mitteleuropas. Zeitschr. f. Botanik 18. 1926.
- Über die Bestimmung der Walddichte und der Vegetation waldloser Gebiete mit Hilfe der Pollenanalyse. Planta 22. Berlin, 1934.
- Flaig, W.: Das Gletscherbuch. Leipzig, Brockhaus, 1938.
- Forbes, J. D.: Travels in the Alps of Savoy, 1843. (Übersetzung ins Deutsche von Leonhard. Stuttgart, 1845.)
- Forel, F. A.: Le grain du glacier. Arch. des Sciences. Genf, 1882.
- Gee, Mc.: On maximal synchronous Glaciation. Salem, 1881.
- Grad, Ch.: Comptes rendus, 1867, 1869.
- Hagenbach, E.: Das Gletscherkorn. Verh. Naturf. Ges. Basel 8. Basel, 1888.
- Hamberg, A.: Sarjekfjällen. Ymer, 1901.
- Heim, A.: Über die Theorie der Gletscherbewegung. Jahrb. Schweiz. Alpenklub, 1873.
- Handbuch der Gletscherkunde. Stuttgart, 1885.
- Heß, H.: Zur Strömungstheorie der Gletscherbewegung. Zeitschr. f. Gletscherkunde 19. Leipzig, 1931.
- Die Gletscher. Braunschweig, 1904.
- Holl, A.: Das Gletscherrätsel. Natur und Museum 61. Frankfurt, 1931.
- Hörmann, H.: Die pollenanalytische Untersuchung von Pinus montana, Pinus silvestris und Pinus cembra. Österr. Botan. Zeitschr. 78, 1929.
- Hüber, W.: Les glaciers. Paris, 1867.

- Hugi, F. J.: Über das Wesen der Gletscher und über eine Winterreise in das Eismeer. Stuttgart, 1843.
- Ihne, E.: Phänologische Mitteilungen. Darmstadt, Kichler, 1929—1935.
- Knoll, F.: Über die Fernverbreitung des Blütenstaubes durch den Wind. Forsch. u. Fortschr. 8, 1932.
- Lüdi, W.: Die Waldgeschichte der Grimsel, Beih. Botan. Zentralblatt 49, 1932.
- Die Pollensedimentation im Davoser Hochtale. Ber. Geobot. Forschungsinstit. Rübel 1936. Zürich, 1937.
- Lüdi, W., und Vareschi, V.: Die Verbreitung, das Blühen und der Pollenniederschlag der Heufieberpflanzen im Hochtale von Davos. Ber. Geobot. Forschungsinstit. Rübel 1935. Zürich 1936.
- Lütschg, O.: Der Märjensee und seine Abflußverhältnisse. Annal. d. Schweiz. Landeshydrographie. Bern, 1915.
- Lütschg, O., und Maurer: Zur Meteorologie und Hydrologie des Jungfraugebietes. Hochalp. Forschungsstat. Jungfrauoch. Bern, 1931.
- Mothes, H.: Neue Ergebnisse der Eisseismik. II. Untersuchungen auf dem Konkordiaplatz. Zeitschr. f. Geophysik 5. Braunschweig, Vieweg, 1929.
- Mousson, A.: Die Gletscher der Jetztzeit. 1854.
- Overbeck, F.: Zur Kenntnis der Pollen mittel- und nordeuropäischer Ericales. Beih. Botan. Zentralbl. 51, 1934.
- Pfaff, F.: Poggendorffs Annalen 155, I., 1875.
- Philipp, H.: Untersuchungen über die Gletscherstruktur und die Gletscherbewegung. Geolog. Rundschau 5, 1914.
- Geologische Untersuchungen über den Mechanismus der Gletscherbewegung und die Entstehung der Gletschertextur. Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geologie und Paläontologie 43. Stuttgart, 1920.
- Quervain, A. de: Der Stand der meteorologischen und astronomischen Einrichtungen in der Forschungsstation Jungfrauoch im Herbst 1925. Vierteljahrsschr. d. Naturf. Ges. Zürich 70. Zürich, 1925.
- Rempe, H.: Untersuchungen über die Verbreitung des Blütenstaubes durch Luftströmungen. Planta 27. Berlin, 1937.
- Rendu: Théorie des Glaciers de la Savoie. Mémoires de l'Acad. Royale des Sciences de la Savoie, 1841.
- Scheppegegrell, W.: Hay fever and asthma-cause, pervention and cure, 1922.
- Schlagintweit, H. und A.: Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen. Leipzig, 1850 (1857).
- Seligman, G.: Jungfrauoch Research expedition. Preliminary Report. Geographical Journal 93, 1939.
- Sokolowski, M.: O gornej granicy lasu w Tatarach. Zaklady badania drzew i lasu 1. Krakau, 1928.
- Steenstrup, K. J. V.: Meddelser om Grønland, 1882.
- Stern, W.: Versuch einer elektrodynamischen Dickenmessung von Gletschereis. Beiträge zur Geophysik 23. Leipzig, Akad. Verlagsges. 1929.
- Streiff-Becker, R.: Zwanzig Jahre Firnbeobachtung. Zeitschr. für Gletscherkunde, 1936.
- Thomson, J.: Transact. Roy. Soc. Edinburgh, 1849.
- Tyndall, T.: The glaciers of the alps, 1857. (Übersetzung ins Deutsche, Braunschweig, 1898.)
- Tyndall, J.: Les glaciers et les transformations de l'eau. Paris, 2<sup>e</sup> édit., 1876.
- Vareschi, V.: Pollenanalysen aus Gletschereis. Vorläuf. Mitt. mit besonderer Berücksichtigung des Problems der Pollenstreuung. Ber. Geobot. Forschungsinstit. Rübel 1934. Zürich, 1935.
- Blütenpollen im Gletschereis, eine neue glaziologische Methode. Zeitschr. f. Gletscherkunde 23, 1935.
- Prüfung der neuen pollenanalytischen Methode der Gletscherforschung an Hand eines Firnprofils von bekannter Entstehungszeit. Zeitschr. f. Gletscherkunde 25, 1937.
- Pollenniederschlag in den Hochalpen. Zeitschr. f. d. gesamte Naturwissenschaft, 1940.
- Wigand, A.: Die vertikale Verteilung der Kondensationskerne in der freien Atmosphäre. Ann. Physik. 59, 1919.