

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)
Band: 21 (1944)

Artikel: Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez
Autor: Welten, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-307553>

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>

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

**Pollenanalytische,
stratigraphische und geochronologische
Untersuchungen aus dem Faulenseemoos
bei Spiez**

von

MAX WELTEN

Spiez



VERLAG HANS HUBER BERN
1944

Alle Rechte vorbehalten

Copyright by Verlag Hans Huber, Bern 1944

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

Meinen verehrten Lehrern und steten Förderern

Herrn Prof. Dr. Walter Rytz, Bern

und

Herrn Dr. Werner Lüdi, Zürich,
Direktor des Geobotanischen Forschungsinstituts Rübel,

gewidmet.

Inhaltsübersicht.

| | Seite |
|---|-------|
| I. <i>Einleitung und Methodisches</i> | 7 |
| II. <i>Das Postglazial.</i> | |
| a) Erste Orientierung: Profile I—V | 16 |
| b) Analoge Entwicklungen: Seweliswald im Reutigenmoos und Echarlens im Greyerzerland | 23 |
| c) Die Tiefenverhältnisse und die Eichenmischwaldzeit: Profile VI und VII | 27 |
| d) Ausbau: Moormitte und jüngste Schichten: Profil IX | 33 |
| III. <i>Das Spätglazial.</i> | |
| a) Einleitung und Profil VIII | 53 |
| b) Profil X | 59 |
| c) Profil XI | 65 |
| d) Die Weidenzeit und Profil XII | 72 |
| IV. <i>Die Artunterscheidung bei Pinus und Betula und die Zusammensetzung des späteiszeitlichen Waldes von Faulensee.</i> | |
| a) Einleitung | 88 |
| b) Betula | 90 |
| c) Pinus | 97 |
| V. <i>Geochronologische Untersuchungen.</i> | |
| a) Die Schichtung des Sediments im ehemaligen Faulensee | 109 |
| b) Die Zählung der Jahresschichten im Sediment des Faulensees | 123 |
| c) Verknüpfung der Zählprofile und zusammenfassender Überblick | 139 |
| d) Die Chronologie des Spät- und Postglazials von Faulensee verglichen mit den bisherigen Anschauungen | 141 |
| aa) Die jüngern Abschnitte (3200 v. Chr. bis 1920 n. Chr.) | 141 |

| | Seite |
|---|-------|
| bb) Die ältern Abschnitte (vor 3200 v. Chr.) . . . | 147 |
| Zusammenfassung und Versuch der zeitlichen Parallelisierung spätglazialer Erscheinungen in Mittel- und Nordeuropa | 158 |
| VI. <i>Sedimentation, Zuwachs und Moorstratigraphie.</i> | |
| a) Der jährliche Zuwachs der Sedimente und seine Abhängigkeit von der Wassertiefe und vom Klima | 159 |
| b) Die Zuwachsverhältnisse im Flachmoortorf des Faulenseemooses | 167 |
| c) Der absolute jährliche Pollenniederschlag und seine säkulare Änderung. Das absolute Pollendiagramm | 170 |
| d) Die absolute jährliche Sedimentation von Ein- schwemmungsmergel, Seekreide und organischem Material. Säkulare Schwankungen und Klima . | 182 |
| VII. <i>Zusammenfassung</i> | 191 |

I. Einleitung und Methodisches.

Der Verfasser begann vor zwölf Jahren seine pollenanalytischen Untersuchungen im Gebiet des Simmentals im westlichen Berner Oberland mit der Fragestellung: Wie entwickelte sich der Wald in diesem Voralpengebiet? Die Vegetation dieses Gebietes war im Sinne heimatkundlicher Forschung etwas näher studiert worden (W e l t e n , 1938). Die Fragestellung ist charakteristisch für den damaligen Stand der pollenanalytischen Forschung: Die Waldentwicklung vieler Jahrtausende war in großen Zügen und über weite Gebiete erforscht. Die Woge der extensiven und weiträumigen ersten Durchforschung drang in die letzten noch unerforschten Gebiete. Eine Periode des Ausbaus setzte ein.

In diesem Zeitpunkt gab es weder aus dem Gebiet des Simmentals selbst, noch aus dem umschließenden Gebiet der Westschweiz und des Wallis Pollenprofile. Das einzige dem Gebiet naheliegende Profil war dasjenige von P. K e l l e r (1928) aus dem Schmiedmoos bei Thun; es war zudem das westlichste Profil des schweizerischen Alpenrandes. In einiger Entfernung schlossen sich daran nach Osten und Norden die Profile aus dem Wachseldornmoos und dem Stauffenmoos bei Heimenschwand und vom Moosseedorfsee vom gleichen Autor.

Seither sind aus der weitem Umgebung des Simmentals folgende zum Vergleich heranzuziehende Profile publiziert worden: W. L ü d i (1929) Siehenmoos bei Eggiwil; W. L ü d i (1932) Grimsel; P. K e l l e r (1933) vorläufige Mitteilung über westschweizerische und Walliser Moore; W. L ü d i (1935) Großes Moos; P. K e l l e r (1935) Wallis; W. R y t z (1937) Schoßhalde bei Bern.

Zahlreiche Profile aus dem Simmental und seiner Umgebung sind bis heute vom Verfasser durchgearbeitet worden. Die Waldentwicklung ist in großen Zügen und vielen Einzelheiten vom Thunersee (560 m ü. M.) bis auf über 2000 m hinaus klargelegt. Diese Ergebnisse sollen in anderem Zusammenhang publiziert werden.

Die vorliegende Arbeit hat mit den genannten Untersuchungen nur den Ausgangspunkt gemeinsam: Das Faulenseemoos sollte ein Punkt im Untersuchungsnetz des Simmentales sein. In-

dessen hat sich das Faulenseemoos als derart günstig erwiesen im Erhaltungszustand, im zeitlichen Wachstum und stratigraphischen Aufbau, daß sich eine Reihe neuer F r a g e s t e l l u n g e n geradezu aufdrängte:

1. Aufstellung eines in kleinen Abständen untersuchten Pollendiagramms bis in die Jetztzeit.
2. Erweiterung des bisher bekannten «normalen» Pollendiagramms bis in die Jetztzeit.
3. Anschluß des Pollendiagramms ans letzte Glazial: das Spätglazial.
4. Die Verbindung des Pollendiagramms mit dem Sedimentdiagramm.
5. Die Artunterscheidung bei *Pinus* und *Betula*.
6. Abklärung und Auswertung der festgestellten Feinschichtung des Sediments.
7. Die Zuwachsverhältnisse in Seekreide und Kalkgyttja.

Eine lückenhafte monographische Bearbeitung des Moores ergibt sich freilich aus der Behandlung der genannten Probleme; eine Monographie aber war nicht geplant; die wenigen Angaben in dieser Richtung sind als der notwendige Rahmen aufzufassen.

Das Faulenseemoos liegt an der Straße Spiez—Interlaken am Westende des Dörfchens Faulensee in einer Meereshöhe von 590 m und ist nur rund 700 m vom Thunersee entfernt. Die sehr steile Kalkflanke des prähistorisch interessanten Hügels der Bürg (ca. 690 m ü. M., bronzezeitliche Höhensiedlung, vgl. O. T s c h u m i, 1938) stellt die Begrenzung des Moores gegen Norden und den Thunersee dar; sie liefert den Vorderrand der Rinne, die das Moor trägt. Den Hinterrand südwärts vom Moor bildet die sanft nordwärts abfallende moränenbedeckte Flanke Spiez—Krattigen. Die wohl ursprünglich gegen Osten (Faulensee) offene Rinne ist durch Moränenmaterial des Aaregletschers verschlossen worden. Die kesselartigen Steilhangbildungen am oberen Ende und die besonders große Tiefe der Mittelmulde scheinen auf Vertiefung der Rinne durch Einsturz oder Versickerungstrichter zu deuten (westwärts der Bürg finden sich Gipstrichter; vgl. Geol. Karte Thun—Stockhorn von B e c k und G e r b e r, 1925). Das Moor erreicht so eine größte Länge von 500—600 m und eine Breite von nur 50—150 m. Es ist in den ersten Nachkriegsjahren 1918/20 trockengelegt worden und ist heute von Matten und

Äckern bedeckt. Die ehemals reiche Sumpfvegetation ist ganz vernichtet. Jeder Bewohner von Faulensee weiß, daß an der breitesten und tiefsten Stelle des Moores bis 1920 ein seichter, aber keineswegs betretbarer Schilfteich lag, das «Nagelseeli» genannt (wohl von «Roßnägel», d. h. Kaulquappen). Diese Stelle ist noch heute als tiefste und nasse Stelle mit Sauergräsern gut kenntlich. Überdies dürfte der Name Faulensee selbst von diesem Moortümpel stammen. Daß das Moor auch in randlichen Teilen gegen die Bürg bis in späte Zeiten sehr naß war, zeigt der Umstand, daß der alte Oberländerweg über die Einsattelung der Bürg hinauf- und hinunterführte und nicht dem Moorrand nach, wo heute die neue Straße auf tiefem Moorboden ruht. Diese Tatsachen lassen nicht den geringsten Zweifel bestehen, daß die zentralen Teile des Moores bis in die Gegenwart hinein in vollem Wachstum begriffen waren. Die Mooroberfläche ist heute mehrfach merkwürdig uneben; das rührt von ungleichem Einsinken nach der Trockenlegung her, bedingt durch randliche tonige und sandige Einschwemmungen eines kleinen Bächleins, welches vom Hondrichhügel her (ca. 500 m südwärts) etwa in die Mitte des Moores mündet. Am obern Ende des Moores tritt Grundwasser ins Moor. Die Entwässerung geschieht Richtung Faulensee in den Thunersee.

Die heutigen Waldverhältnisse der Umgebung des Moores sind folgende: Die gesamte Waldfläche der Gemeinde Spiez erreicht nicht ganz 30 % des Gemeindeareals; 60 % sind Matten, der Rest Äcker und unproduktives Land. Es sind vor allem sechs größere Waldungen, die als Hauptpollenlieferanten in Frage kommen. Der unmittelbar angrenzende Bürgwald wendet seine xerotherme Südflanke mit Buchen, Eichen, Linden, Eschen, Feldulmen und Waldkiefern dem Moor zu. Winde aus dieser Nordrichtung sind zwar selten; doch dürften Warmluftströmungen hier zu allen Zeiten Pollen nach dem Moor verfrachtet haben. Die Bise kommt von Osten (Brünigbise) über den See oder von Nordwesten (Aaretalbise) über die Waldungen des Rust-, Au- und Lattigwaldes, deren kleinste Distanz vom Moor rund 2 km beträgt. West- und Südwestwinde sind die häufigsten Winde, zugleich die Regenwinde; sie bestreichen wohl auch die zwei letztgenannten Waldungen, dazu den 500 m entfernten Hondrichwald. Die recht häufigen Föhnströmungen, die infolge ihrer hohen Tem-

peratur und Trockenheit für den Pollentransport besonders geeignet sein dürften, kommen aus Osten über den See oder aus Süden (aus dem Kandertal) über den 600 m entfernten Faulenseewald. Fast alle genannten Winde bringen wohl gelegentlich etwas Ferntransportpollen aus den Berglagen des Simmentals, des Kandertals und des Thunerseegebietes; da diese aber bis 1200 m hinauf Buchenwald und Buchen-Weißtannen-Mischwald tragen, dürfte eine sehr wesentliche Beeinflussung des Pollenbildes durch Fichtenpollen aus dem Fichtengürtel der Berge nicht vorkommen, um so weniger als die Luftlinie bis dorthin 5 bis 10 km beträgt. Die Waldrodungen zur Gewinnung von Kulturland werden allerdings für die Zeit der letzten Jahrtausende und Jahrhunderte den relativen Anteil des Ferntransportpollens zum ortseigenen Pollen wesentlich gesteigert haben. Folgende Zusammenstellung der relativen Stammzahlverhältnisse (%) (nach den Wirtschaftsplänen des Kreisforstamts Spiez berechnet) der Waldungen der Gemeinde Spiez gibt die einzige und vorsichtig auszuwertende Vergleichsbasis zwischen Pollenprofil und wirklichem Wald.

| Wald | Größe in ha | Buche | andere Laubbäume | Tanne | Fichte | Kiefer und Lärche |
|---------------|----------------|-------|---------------------|-------|--------|----------------------|
| Bürgwald | 22 | 62 | 6 | + | 16 | 16 |
| Faulenseewald | 93 | 63 | 4 | 0,5 | 33 | — |
| Hondrichwald | 44 | 72 | 3 | 1 | 24 | 1 |
| Lattigwald | 50 | 31 | 2 | 3 | 49 | 15 |
| Auwald | 60 | 32 | 7 | 6 | 44 | 11 |
| Rustwald | 98 | 51 | 3 | 28 | 10 | 8 |

Einige Bemerkungen zur Methodik.

Gerade in dem Augenblick des Ausbaus einer Disziplin ist eine Prüfung der Fehlermöglichkeiten der angewandten Methoden am Platz. Zur Gewinnung von Untersuchungsmaterial wurde fast stets der schwedische Kammerbohrer verwendet, den mir das Botanische Institut und das Naturhistorische Museum Bern, später auch das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich bereitwillig zur Verfügung stellten. Den Herren Prof. Dr. Rytz, Dr. Gerber und Dr. Lüdi sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt. Der Bohrer arbeitet in Material von recht homogener

Beschaffenheit befriedigend. Torf - Seekreide - Kontakte, feinere Lehmeinschwemmungsbändchen, Schichten feinsten Art in der Kalkgyttja und in der Seekreide und in der Tongyttja (siehe später) kommen meist so sauber, unvermischt, in sozusagen natürlicher Lage zum Vorschein, daß man alles Zutrauen zum Gerät gewinnt. Etwas lagefremdes Material schiebt sich zwar fast immer im Zwischenraum des beweglichen und festen Kammerteils über den Kern. Diese Verunreinigung muß jedesmal vorsichtig entfernt werden, bevor man dem Kern Material entnimmt; auch darf das Material nie ganz bis zu den Kammerwandungen entnommen werden; natürlich muß das entnehmende Messer ständig peinlich sauber gereinigt sein. Nicht gerade selten bekommt man allerdings auch stärkere und unangenehme Verunreinigungen zu Gesicht, wenn sich z. B. Torfwasser aus den oberen Teilen des Bohrlochs ins Innere der Kammer hineingedrängt hatte (den geschlossenen Bohrer deshalb rasch durchs offene Bohrloch hinunterstoßen), oder wenn Sand usw. das richtige Funktionieren des beweglichen Teils hinderte; es braucht dann oft große Geduld der Präparation, um etwas sauberes Material einzusammeln. Wichtig ist, alle verdächtigen Erscheinungen beim Bohren sogleich genau zu protokollieren. Eine prinzipiell fast bedenklichere Fehlermöglichkeit liegt im obersten Teil (ca. 5—10 cm) jeder 50 cm fassenden Kanne, dort, wo beim Entnehmen der vorigen Kanne die Bohrspitze schon eingedrungen war und vielleicht Material von oben liegengelassen hatte (bei großem Probeabstand die Proben aus dem untern Teil der Kanne entnehmen, bei kleinem Probeabstand genau beobachten und notieren). Gewohnheitsmäßig fehlerhaft arbeitet der Bohrer nach meiner Erfahrung auch beim Eindringen aus lockerem Material in sehr dichtes Material, indem dann die Windungen der Bohrspitze durch das zähe Material ausgeputzt werden. Diese Beobachtung habe ich am Kontakt Seekreide-Lehm (zäh) oft gemacht. Vereinzelte wärmezeitliche Pollen an dieser meist spätglazialen Grenzlinie sind sehr vorsichtig auszuwerten.

Die Proben wurden meist in Zeitungspapier eingewickelt, gut verpackt und so trocknen gelassen. Doppelte, zuverlässige Anschrift der Tiefenlage ist so besonders leicht. Das Austrocknen verursacht nur bei reiner Gyttja einige Aufbereitungsschwierigkeit, da das Material sehr zäh wird; durch Abschneiden von Spän-

chen mit scharfem Messer bekommt man aber leicht gutes Aufbereitungsmaterial, ohne im allgemeinen die Pollenkörner zu verletzen.

Der Probeabstand sollte stets kleiner gewählt werden, als für die Untersuchung beabsichtigt ist, damit man an interessanten Stellen des Profils später Zwischenproben einschalten kann, ohne ein neues Profil erbohren und untersuchen zu müssen. Der Probeabstand ist im übrigen der Mächtigkeit der Lager anzupassen. Firbas (z. B. Federsee, 1935) hat in dieser Beziehung vorbildlich gearbeitet. In sehr mächtigen Ablagerungen genügen heute vielfach noch Untersuchungsabstände von 20 cm in Tieflagen, 10 cm in größeren Meereshöhen; bei geringerer Mächtigkeit sollte man mindestens alle 10 cm, in größeren Höhen alle 5 cm Proben entnehmen. In größerer Tiefe limnischer Ablagerungen sind die Probeabstände kleiner zu wählen als nahe der Oberfläche. Methodisch wird man allerdings die richtigen Probeabstände nur durch eine extensive Voruntersuchung feststellen können. Ein gewisses Kriterium für genügenden Probeabstand haben wir in folgendem: Die Proben sind so eng zu entnehmen, daß die Prozentkurven von einer Probe zur andern nicht mehr sprunghaft verlaufen. Die Anwendung des Kriteriums stößt zwar auf zwei Schwierigkeiten: Weite Probeabstände ergeben gerne ausgeglichene Kurven, weil die Wahrscheinlichkeit, Maxima und Minima zu erfassen, mit zunehmendem Abstand rasch sinkt. So wird dann leicht eine erschöpfende Darstellung der Waldentwicklung vorgetäuscht. Andererseits dürften engste Probeabstände (Größenordnung Millimeter) wieder sprunghaft veränderliche Kurven ergeben, indem dann die natürlichen Jahresschwankungen der Pollenproduktion in die säkulare Kurve einbezogen werden. Welche Größe des Kurvensprungs man als zulässig betrachten will, hängt natürlich vom Zweck der Untersuchung ab.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die Größe der zu entnehmenden Probe so gewählt werden soll, daß sie mindestens etwa sechs Jahresablagerungen umfaßt. In mächtigen Ablagerungen sind die Jahresschichten etwa 1—3—5 Millimeter dick, weshalb jede Probe über 1—3 cm greifen sollte. In wenig mächtigen Ablagerungen dürfen die Proben weniger als 1 cm Schichthöhe umfassen. Immerhin ist zu bedenken, daß erst eine Voruntersuchung zeigt, ob eine Ablagerung, verglichen mit

dem entsprechenden Entwicklungsabschnitt, mächtig oder gering zu nennen ist. Für das Spätglazial fehlte uns freilich ein Zeitmaßstab noch; er wird durch vorliegende Arbeit geschaffen.

Bei der Aufbereitung des Materials hat man sein Augenmerk außer auf peinlich saubere Gefäße und Geräte auch auf gute statistische Vertretung der Probe im reduzierten Untersuchungsmaterial zu richten. Es hat keinen Sinn, eine Probe von sechs Jahresablagerungen nach Hause zu nehmen und dann nur eine bis zwei Jahresablagerungen von einem Ende der Probe zu untersuchen. Von mindestens einem halben Dutzend verschiedenen Stellen der Probe ist Material für die Untersuchung zu entnehmen, je nach Material durch Abbröckeln oder Abschaben mit dem Messer. — Die übliche Behandlung mit Kalilauge und nachherigem Glyzerinzusatz wurde fast stets angewendet, auch wenn kalkhaltige Materialien zuvor mit Salzsäure, tonige mit Flußsäure und Salzsäure (nach den Angaben Assarsons und Granlunds, 1924) vorbehandelt waren. Das Auswaschen nach Säurebehandlung erfolgte mangels einer Zentrifuge durch mehrstündiges Absitzenlassen in weiten kurzen Reagensgläsern (dreimal wiederholt).

Mangels der nötigen Ausrüstung konnten die neuen Aufbereitungsmethoden nach Erdtman (1936) nicht angewandt werden. Es ist in diesem Falle wichtig, recht dünne Präparate anzufertigen, damit man auch die kleinsten Pollenkörner neben dem unvermeidlichen übrigen Pflanzenmaterial gut erkennt. Sonst tritt leicht eine Überrepräsentation der besser sichtbaren Großpollen auf.

Die mikroskopische Untersuchung sollte eine gute statistische Vertretung des Präparatmaterials ergeben, wenn nicht das ganze Präparat durchuntersucht wird. Man macht gelegentlich die Beobachtung, daß gewisse Pollenkörner, wohl beim Auflegen und Verschieben des Deckglases, stärker nach dem Rand verschoben sind als andere. Es ist deshalb ratsam, bei pollenreichem Material die Untersuchungszeilen in weitem Abständen als gewohnt bis in die Mitte des Präparats vorzuschieben oder über das ganze Präparat zu verteilen.

Damit sind wir an die Frage nach der Zahl der auszu-zählenden Pollenkörner herangetreten. Die Antwort auf diese Frage könnte statistisch erst durch äußerst komplizierte

und mannigfaltigste Untersuchungen erarbeitet werden. Der Einfluß jeder Fehlermöglichkeit müßte durch Experimente ermittelt, der Gesamtfehler vorsichtig abgewogen werden. Jeder Autor müßte für jedes neue Material neue Untersuchungen durchführen. Es ist praktisch deshalb nur möglich, alle Fehlermöglichkeiten zu verringern und dann eine empirisch als notwendig festgestellte und dem Zweck der Untersuchung angepaßte Pollenzahl auszu zählen. Meine Erfahrungen zeigen, daß in pollenarmen Materialien die Verteilung meist eine homogenere ist als in pollenreichen, wo zufällige Häufungen eher auftreten. Daraus folgt, daß man sich bei pollenarmem Material gut mit einer kleineren Pollenzahl begnügen kann. Um die Fehler bei geringer Zahl der ausgezählten Pollenkörner abschätzen zu können, stellte ich folgendes Material zusammen: Unter 1000 ausgezählten Pollenkörnern hatte eine Art 19 %, eine andere 45 % erreicht; für mannigfaltigste Gruppenbildung zu 20, 50 und 100 Stück wurden die Prozentzahlen und die mittlern arithmetischen Abweichungen von obigem Tausendermittel berechnet. Es ergab sich:

| | Mittlerer arithmetischer Fehler für | | |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------|------------|
| | 20 Stk. | 50 Stk. | 100 Stk. |
| bei 19 % Anteil | $\pm 6 \frac{1}{2} \%$ | $\pm 3 \%$ | $\pm 2 \%$ |
| bei 45 % Anteil | $\pm 7 \frac{1}{2} \%$ | $\pm 4 \frac{1}{2} \%$ | $\pm 3 \%$ |

Die großen Extremfehler sind relativ selten. Die Steigerung der Pollenzahl von 50 auf 100 bringt in diesem Material das Prozent im Mittel um 1—2 Einheiten näher an das Tausendermittel. Es hat also sehr oft keinen Sinn, weit über 50 hinauszuzählen. Unter Beachtung des Vorangehenden ist in sehr pollenarmem Material, wie es z. B. im frühen Spätglazial die Regel ist, selbst bei nur 20 ausgezählten Pollen ein recht befriedigendes Resultat zu erhalten. Sollen niedrigste Pollenprozente aber mehr oder weniger genau erfaßt werden, dann sind weit über 100 Pollenkörner auszuzählen. Im übrigen darf man aber die Anforderungen an die statistische Genauigkeit nicht übertreiben: Es hat nämlich keinen Sinn, einen beliebig herausgegriffenen Kurvenpunkt auf 2 % genau festzulegen, wenn sich die Kurve wenige Zentimeter höher oder tiefer um 5—20 % sprunghaft ändert und dieser Kurvenabschnitt infolge zu wenig enger Probeentnahme doch nicht untersucht wird.

Neben diesen untersuchungsbedingten Fehlern bestehen noch die von der Untersuchung unabhängigen Fehler: ungleiche Pollenproduktion, ungleiche Erhaltung, Häufung durch Anwehen oder Andrift oder nahen Stand eines entsprechenden Gehölzes, Materialumlagerungen, Ferntransport. Diese Einflüsse scheinen aber doch meist so klein zu sein, daß die Profile aus dem gleichen Moor oder aus benachbarten Mooren zwar nicht gleich, aber selbst bis ins Detail hinein vergleichbar sind. Ein äußerst wertvolles Hilfsmittel für eine wirklich wissenschaftliche Deutung und Verwendung der erhaltenen Kurven ist die Untersuchung von mindestens zwei Profilen aus dem zu untersuchenden Moor. Auch sollten Profile und Profilstücke mit schlechter Pollenerhaltung schon in den Diagrammen gekennzeichnet sein, um zu verhüten, daß diese Abschnitte als vollwertige Ergebnisse weiter verwendet werden.

Für die Publikation der vorliegenden Arbeit und stete wohlwollende Unterstützung danke ich dem Geobotanischen Forschungsinstitut Rübel in Zürich und dessen Direktor, Herrn Dr. W. L ü d i , bestens. Für bereitwilligste Unterstützung danke ich auch Herrn Prof. Dr. W. R y t z , Bern. Für die Zurverfügungstellung von Literatur bin ich auch dem verstorbenen Herrn Prof. Dr. P. A r b e n z , Bern, ebenso Herrn Prof. Dr. E. W e g m a n n . Neuenburg, dankbar.

II. Das Postglazial.

a) Erste Orientierung: Profile I—V.

Schon die zwei ersten Bohrungen im Jahre 1935 ergaben überraschende Resultate. Im ersten Profil wurde der sogenannte blaue Lehm in 7,3 m Tiefe erreicht, im zweiten erreichte ich ihn mit dem 9-m-Bohrer nicht mehr. Es lag also ein ungewöhnlich tiefes Moor vor. Die Bohrpunkte lagen zudem nur 13 und 18 m vom Moorrand entfernt. Das erbohrte Material war im obersten Abschnitt Flachmoortorf, 1 m im ersten, 2,8 m im zweiten Profil. Darunter erschien in Profil I Seekreide; Profil II zeigte alle möglichen Übergangsstufen von Seekreide, Kalkgyttja und kalkarmer Gyttja.

Die pollenanalytische Untersuchung von Profil I ergab ein aus vielen Gegenden Mitteleuropas wohlbekanntes Bild: eine klare Folge von Birken, Kiefern, Haseln, Eichenmischwald (EMW), Tannen, Buchen, Tannen und Fichten. So selbstverständlich, «alles» zeigend und doch nichtssagend war dieses Bild, daß ich damals von weiteren Untersuchungen abgesehen und das Moor als erledigt betrachtet hätte, hätte nicht das beträchtlich längere zweite Profil meine Neugierde angestachelt. Ein Punkt freilich war auch im ersten Profil etwas rätselhaft: Die untersten 30 bis 50 cm der Seekreide hart über dem blauen Lehm erschienen bei den einfachen Aufbereitungsmethoden von damals pollenleer; auch die Probe in 6,75 m Tiefe war sehr pollenarm. Ich legte mir damals die Auffassung zurecht, der Birkenzeit sei eine *b a u m - l o s e Z e i t m i t W a s s e r v e g e t a t i o n* vorausgegangen (Abb. 2).

Die Untersuchung von Profil II geschah von oben nach unten (Abb. 3). Der Flachmoortorf zeigte eine lange, ausgeprägte Fichtenzeit mit nach unten ansteigenden Tannenprozenten. In 3 m Tiefe folgte ein scharf ausgeprägter Buchengipfel. Von 3,6 bis 5 m dominierten wieder Tanne und Fichte. Nun war wohl bald der Anschluß an Profil I zu erwarten. Statt dessen erschien von 5,5 bis 6,5 m eine lange, alles weit übergipfelnde Buchenzeit. Sie machte nach unten abermals der Tanne und Fichte Platz. Und noch einmal sollte der Anschluß an Profil I nicht kommen: ein

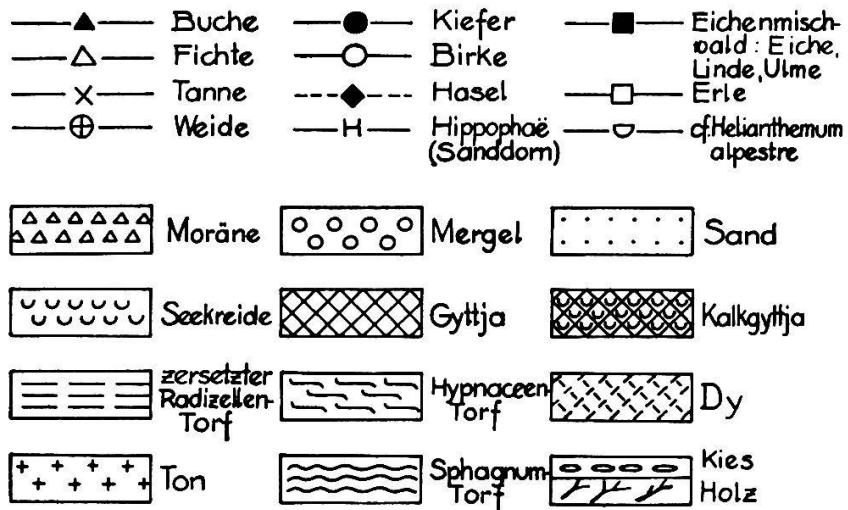


Abb. 1. Signaturen für Holzarten und Sedimente (letzte nach Lüdi, 1939).

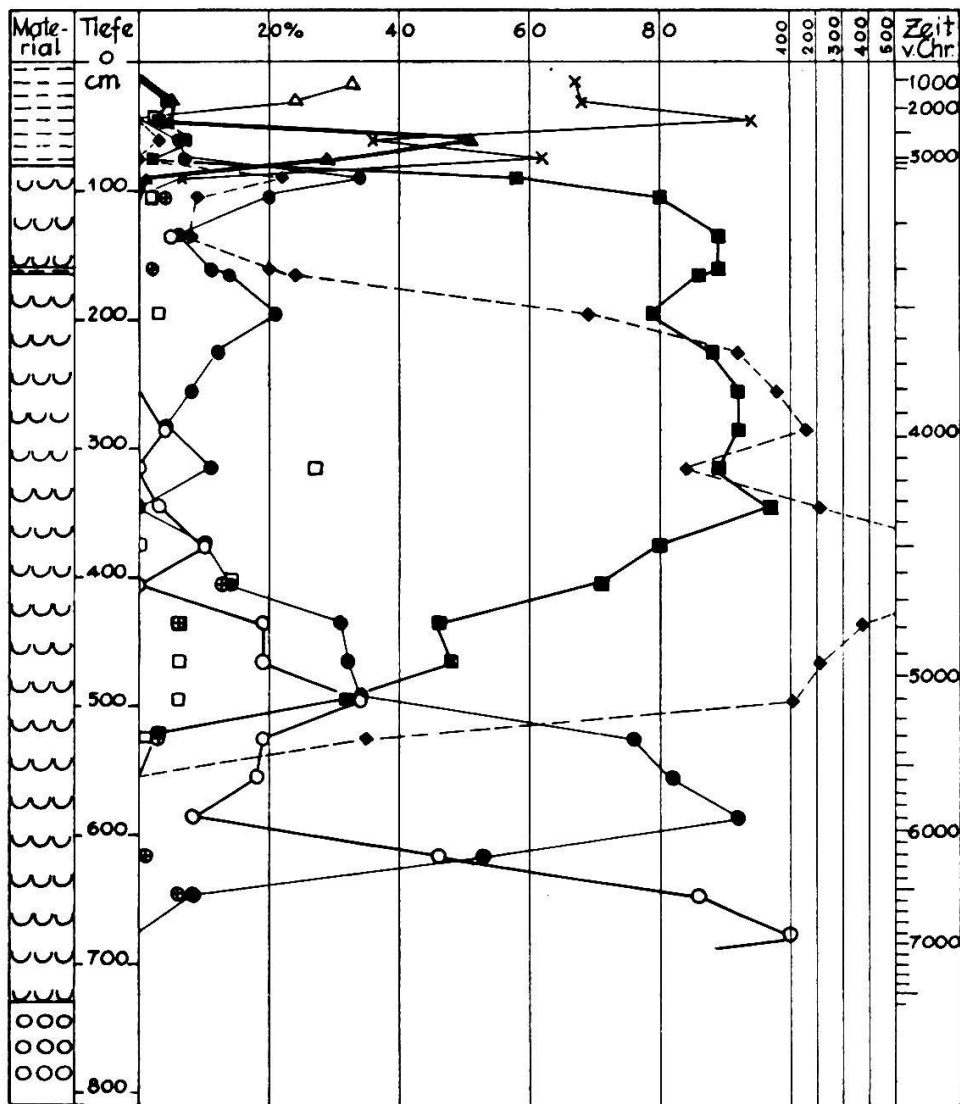


Abb. 2. Faulenseemoos. Pollendiagramm I.

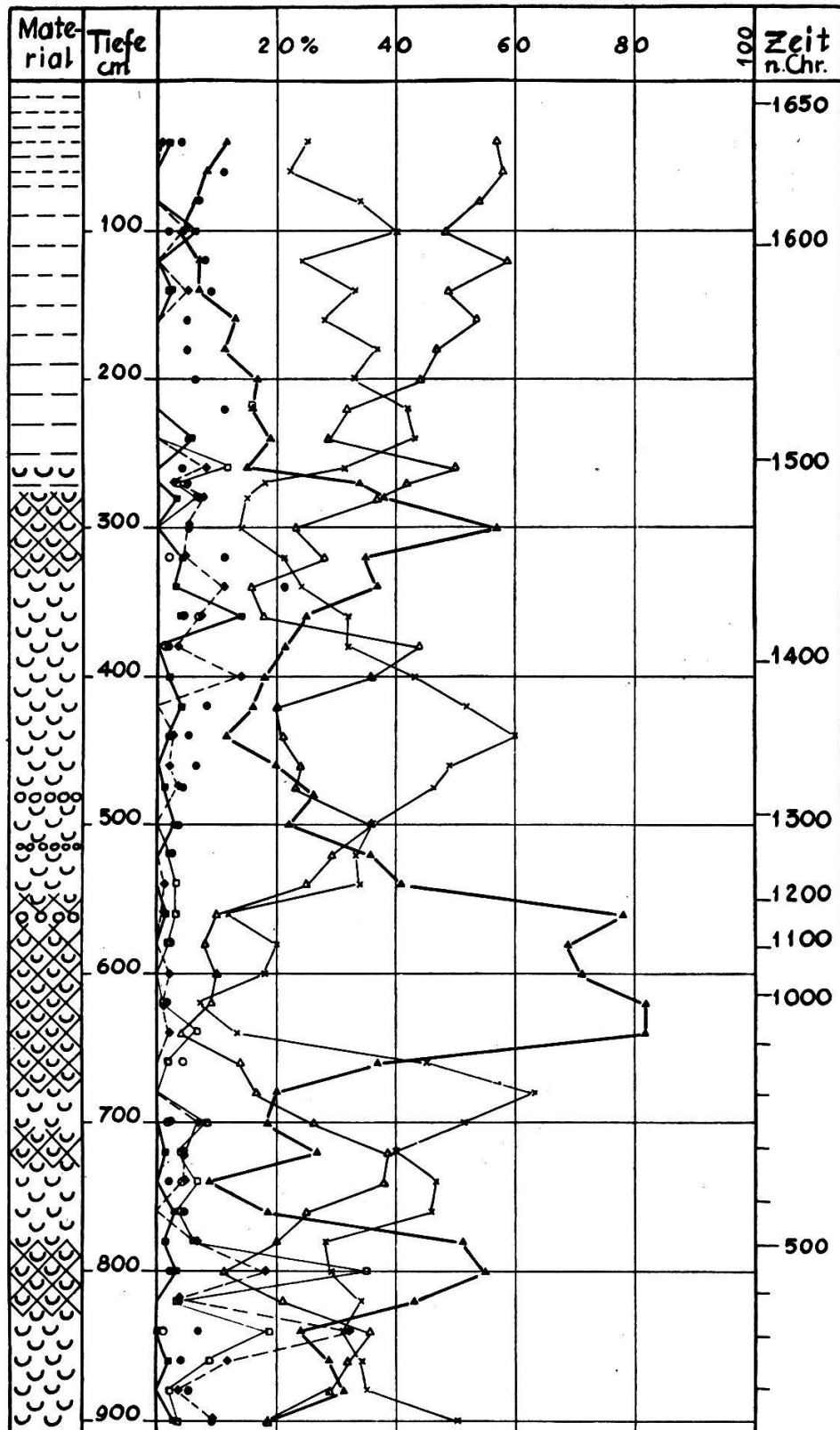


Abb. 3. Faulenseemoos. Pollendiagramm II.

drittes Mal stieg die Buche für eine kürzere Zeit (von 7,8 bis 8,2 m) zur Dominanz auf. Am Ende des Profils in 9 m Tiefe waren Fichte und Buche im Absteigen, die Tanne im Ansteigen begriffen. Ein Zusammenschließen der Profile I und II war auch jetzt noch unwahrscheinlich.

So lagen denn aus dem gleichen Moor zwei ungewöhnlich lange Profile vor mir, die ganz verschiedenen Schichten und Zeiten angehörten (Entfernung der Bohrpunkte 160 m).

Die zwei aufs Geratewohl gelegten Bohrungen hatten mithin nicht gegenseitige Bestätigungen, auch nicht einfache Ergänzungen geliefert, sondern stratigraphisch, pollenanalytisch und waldgeschichtlich höchst interessante Probleme aufgezeigt. Zuerst sollte das stratigraphische Problem der Verschweißung der zwei ersten Profile gelöst werden.

Ein längerer Bohrer zur Ergänzung von Profil II nach unten stand mir damals nicht zur Verfügung. Was lag deshalb näher, als zwischen den ersten Bohrpunkten ein Ergänzungsprofil zu erbohren? Im Jahr 1936 hob ich in 60 m Entfernung von Profil I ein weiteres 9-m-Profil heraus, wiederum ohne Ende (Profil III).

Anläßlich dieser Bohrung konnte ich eine wichtige Nebenbeobachtung machen: Von 6,5 bis 8,5 m waren mehrfach undeutliche, oft aber auch scharf sich abhebende horizontale Wechsellagen von brauner Kalkgyttja und weißer Seekreide festzustellen, die von weißer Schicht zu weißer Schicht 1—2 mm maßen und gelegentlich bis zur Zahl von 20 oder gar 50 aufeinander folgten. Ich vermutete sogleich Jahres-schichten. Ein neues Problem war aufgetaucht.

Die Ergebnisse der pollenanalytischen Untersuchung des Profils III (Abb. 4) waren abermals verblüffend. Die große Buchenzeit war von 6 m in Profil II auf 4 m heraufgestiegen; statt der gesuchten EMW-Zeit waren aber unten zwei weitere Buchenzeiten auf der Bildfläche erschienen. Das Einzigartige in der Verschiedenartigkeit der Pollenprofile I und II ist hier durch Annäherung auf nur 60 m noch betont.

Abermals mußte ein Zwischenprofil entnommen werden. Profil IV (Abb. 5) ergab endlich die Verbindung der Buchenzeitenreihe mit dem EMW. Dagegen blieb diesmal der Anschluß an die Buchenzeitenreihen der frühern Profile unsicher, weil eine

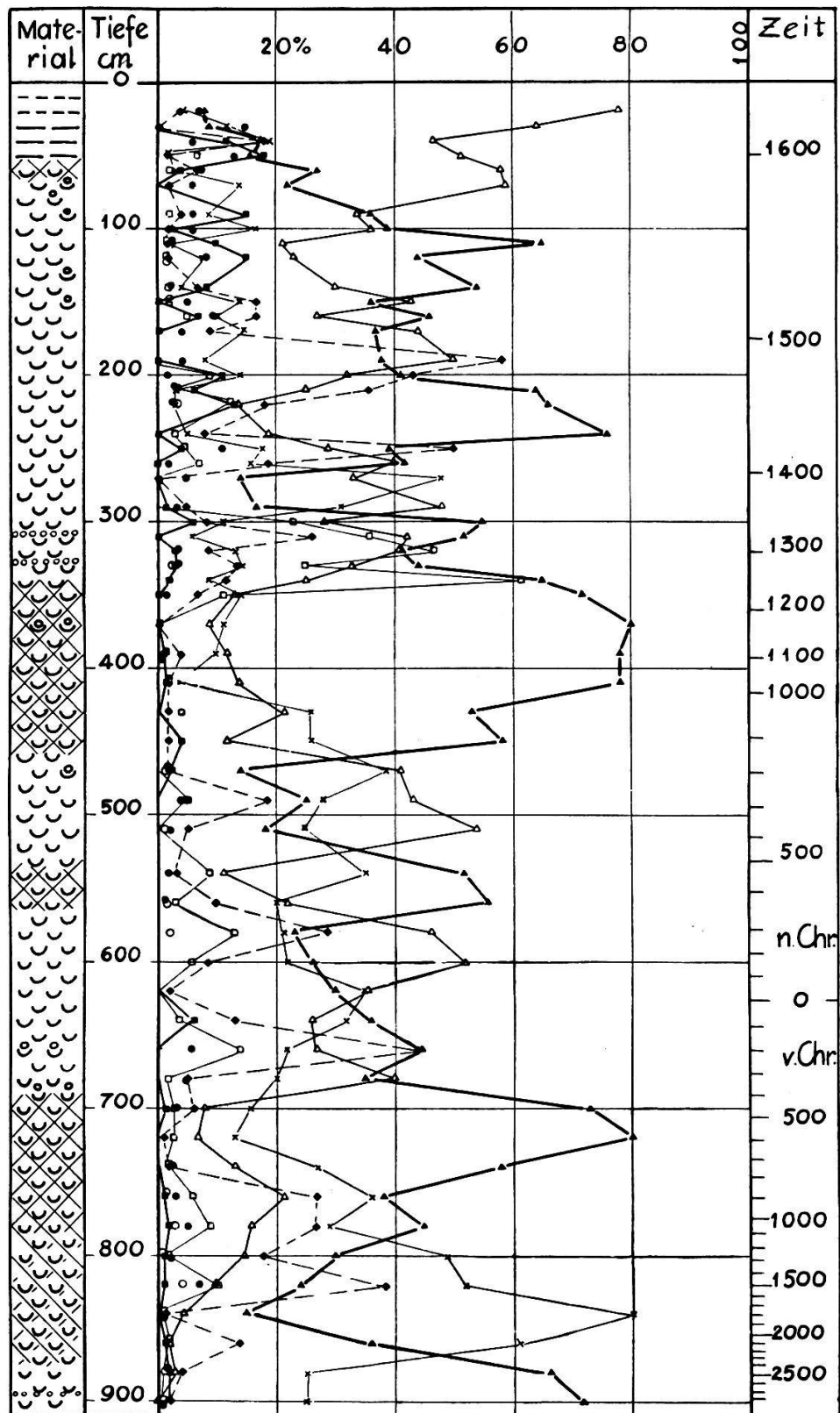


Abb. 4. Faulenseemoos. Pollendiagramm III.

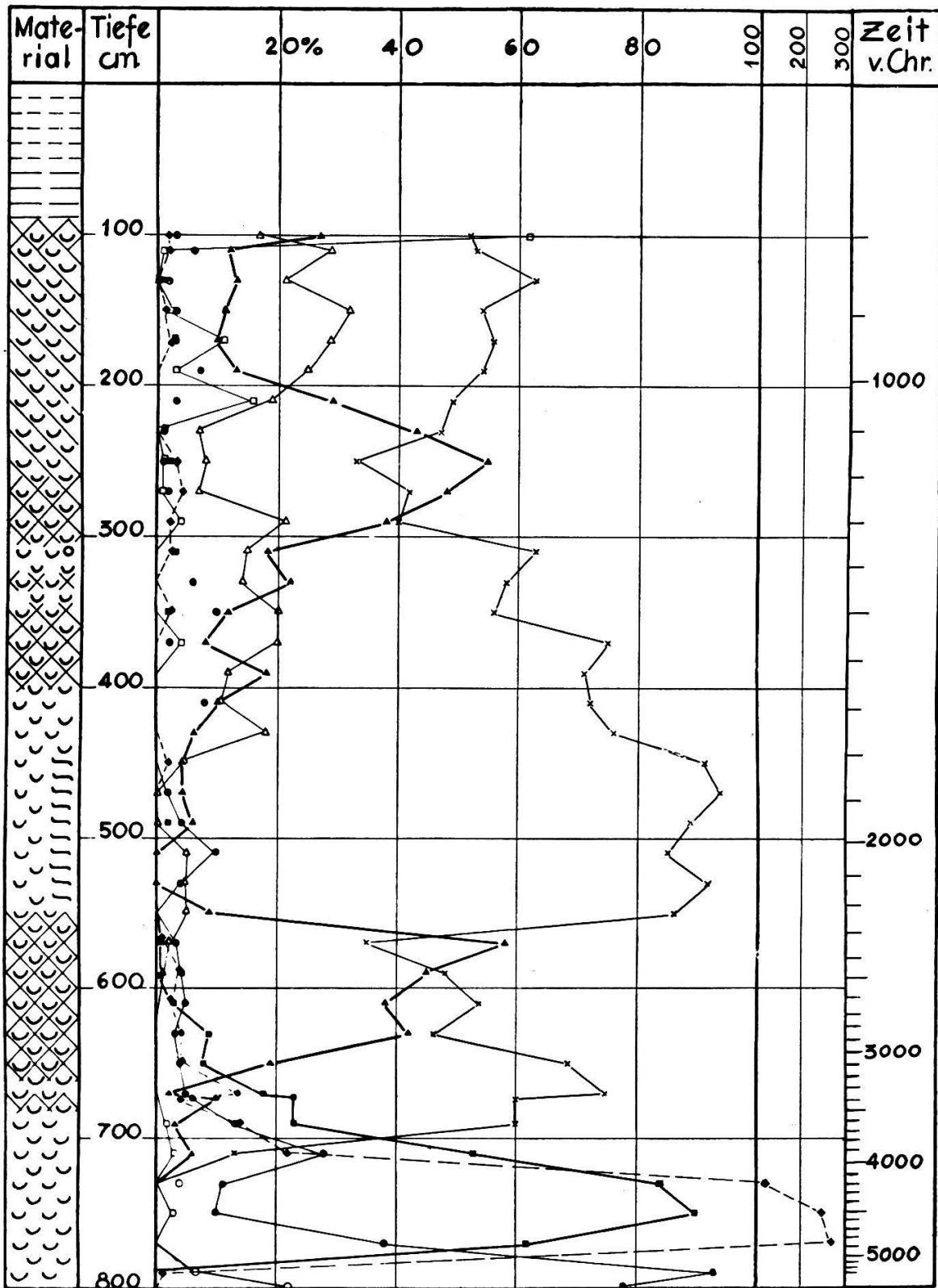


Abb. 5. Faulenseemoos. Pollendiagramm IV.

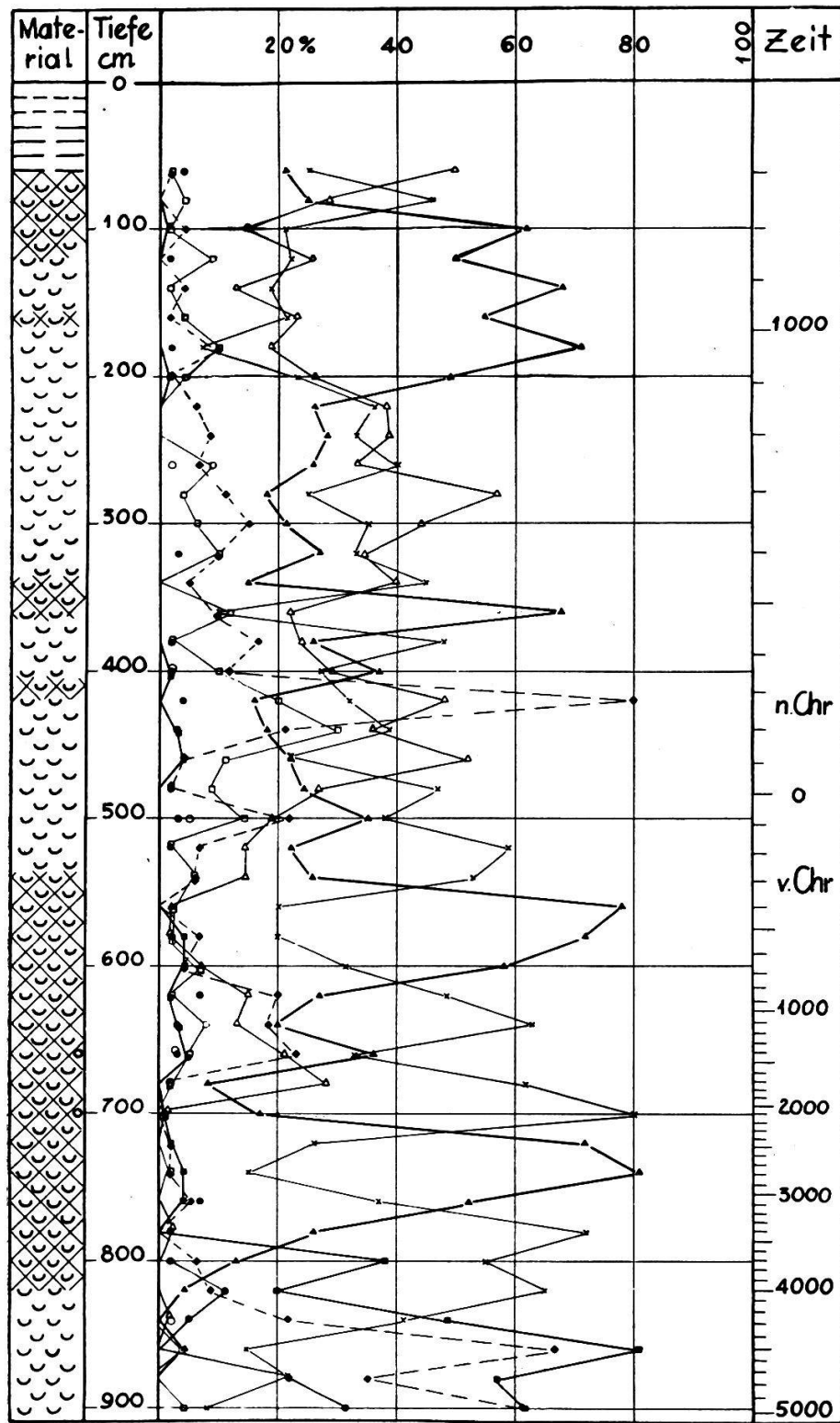


Abb. 6. Faulenseemoos. Pollendiagramm V.

besonders stark entwickelte Tannenzeit erschienen war. Deshalb wurde zwischen Profil III und IV noch ein Profil V entnommen (Abb. 6), das endlich völlige Klarheit brachte. Hier findet sich die große Buchenzeit in 1,5 m Tiefe, die EMW-Zeit von 8,4 m Tiefe an abwärts.

So war denn mit fünf langen Profilen endlich der Gang der postglazialen Waldentwicklung einigermaßen klargestellt. Man kann die Profile I, IV und II (oder III) benutzen zur Zusammenstellung eines Gesamtprofils, das sich über rund 21 m Sedimente erstreckt; davon entfallen etwa 15 m auf den Abschnitt seit der EMW-Zeit. Man tut dem Material dabei aber Gewalt an; denn so klar die Parallelisierung bis in Einzelheiten hinein möglich ist, so individuell verschieden sind die Kurvenverläufe auch wieder. Übereinstimmendes und Abweichendes sollen deshalb nach Beibringung weitem Materials später (S. 43 ff.) nur beschreibend wiedergegeben werden.

Die besondere Eigentümlichkeit der Faulenseemoosprofile besteht in der äußerst langen nacheisenschwäldzeitlichen Sedimentreihe, die wir nach ihrem pollenanalytischen Charakter als Buchenzeitenreihe bezeichnen wollen. Stratigraphie und vielseitige Betrachtungen brachten mich zur Überzeugung, daß es sich um eine vollkommen normale Bildung handeln müsse, die anderwärts auch nachweisbar sein sollte. Ich untersuchte deshalb weitere Profile am Alpenrand unserer Genden, hatte aber Mühe, ähnliche Entwicklungsbilder beizubringen. Zwei gute Beispiele seien hier kurz aufgeführt.

b) Analoge Entwicklungen: Sewelisdal im Reutigenmoos und Echarlens im Greyerzerland.

8 km westwärts des Faulenseemooses findet sich das Hochmoor Sewelisdal. Es bildet einen besondern Teil des großen Reutigenmooses, das schon in der Monographie von Früh und Schröter (1904) beschrieben ist. Es liegt eingebettet zwischen den Bergen der Stockhornkette im Süden (1500—2000 m) und dem Zwieselberg im Norden (830 m) und befindet sich selbst auf einer Meereshöhe von 620 m. Das Reutigenmoos wird vom Glütschbach durchflossen und ist im vergangenen Jahrzehnt in großen Teilen entwässert worden. Viele Teile sind kultiviert, an-

dere befinden sich im Abtorfungsstadium. In dieses Moor ging zu unbekannter Zeit ein Bergsturz nieder, der durch Stauungen Moortümpel zwischen Schuttrücken und Felsblöcken entstehen ließ und so jenes bekannte anziehende Mosaik schuf von frischer, nasser Hochmoorvegetation, die stellenweise nicht betretbar ist, von Sumpfföhrenwald, von Fichten- und Buchenhorsten. Während das Torfstichgebiet des Reutigenmooses sein Wachstum schon längst eingestellt hat und schlecht erhaltenen Torf aufweist (siehe das beigegebene Pollenprofil aus dem Schwefelwald, Abb. 7), befindet sich der Sewelisdal infolge der Naturkatastrophe in jugendlichem Zustand. Dieser Teil bot mir deshalb alle Gewähr, neuere und neueste Pollensedimentation zu zeigen.

Es sei auch hier auf die gegenwärtige Waldzusammensetzung hingewiesen: Die Südseite des Zwieselberges ist zu $\frac{4}{5}$ mit Buchen, zu $\frac{1}{5}$ mit Tannen und Fichten bestockt; die Nordseite der Stockhornkette weist im untern Teil 20—50 % Buche, wenig Tanne und viel Fichte auf, im obern Teil nur Fichte und wenig Bergföhre. Die Abteilung Sewelisdal selbst zeigt ein Stammzahlverhältnis von 53 % Fichte, 26 % Buche, 17 % Sumpfföhre, 2 % Tanne und 2 % Ahorn, während die Abteilung Schwefelwald 85 % Fichte, 13 % Tanne und 2 % Buche aufweist. (Angaben nach Wirtschaftsplänen des Kreisforstamts Spiez.)

Das Profil zeigt über Steinen und Lehm eine dünne Schicht von toniger Seekreide, darüber etwa 1 m Flachmoortorf und 3 m Hochmoortorf. Pollenanalytisch weist es eine stark variierte Buchenzeitenreihe auf (Abb. 8). Leider fehlt dem Profil ein jedenfalls großes unteres Stück, die Verbindung mit den mittlern Waldzeiten, weshalb vor der Vornahme weiterer Untersuchungen eine pollenanalytische Datierung des Bergsturzes nicht vorgenommen werden kann. Deshalb ist auch eine zuverlässige Parallelisierung mit der Buchenzeitenreihe von Faulensee vorläufig noch nicht möglich. Die Existenz eines stark bewegten Pollendiagramms in der weitem Umgebung von Faulensee spricht aber für eine mehr als lokale Erscheinung der in Faulensee festgestellten Waldentwicklung.

Interessant ist die gute Übereinstimmung des Pollengehalts der Oberflächenprobe mit der Waldzusammensetzung des Sewelisdal. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, daß die Sumpfföhre das Moor erst in neuester Zeit zu besiedeln angefangen hat.

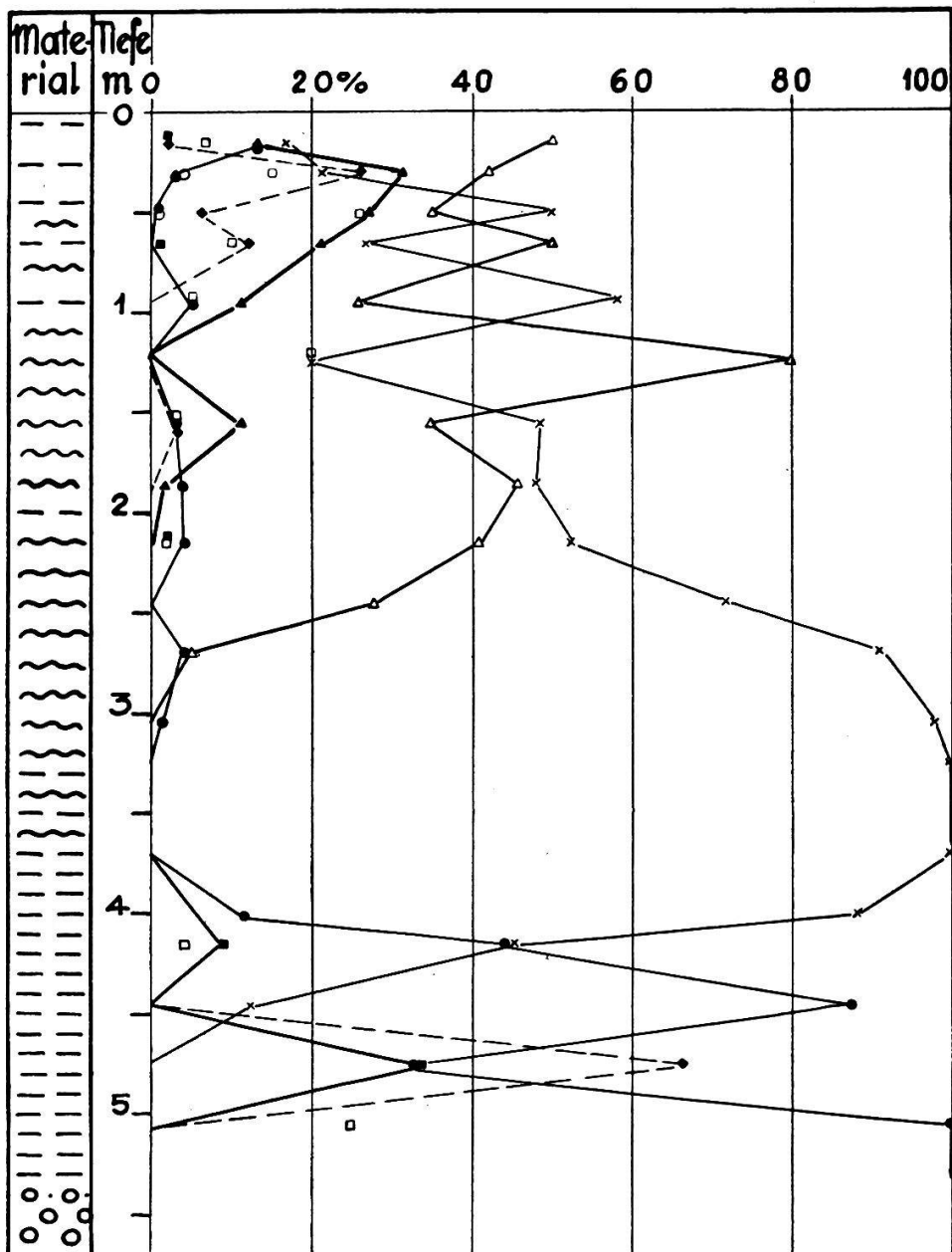


Abb. 7. Reutigenmoos, Schwefelwald. Ältere Moorteile, Stillstandskomplex (Erhaltungszustand oft schlecht).

Es scheint, daß gewisse Teile des Hochmoors jetzt und erst jetzt in den Zustand des verheidenden Kiefernhochmoors übergegangen sind.

In ganz ähnlicher Lage wie das Faulenseemoos am Rand der bernischen Voralpen, liegt das Torfmoor von Echarlens im Greyerzerland am Rand der freiburgischen Voralpen. Es liegt 47 km westlich des Faulenseemooses, im Moränengebiet unterhalb Greyerz-Bulle, 1 km vom linken Saaneufer entfernt, in etwa

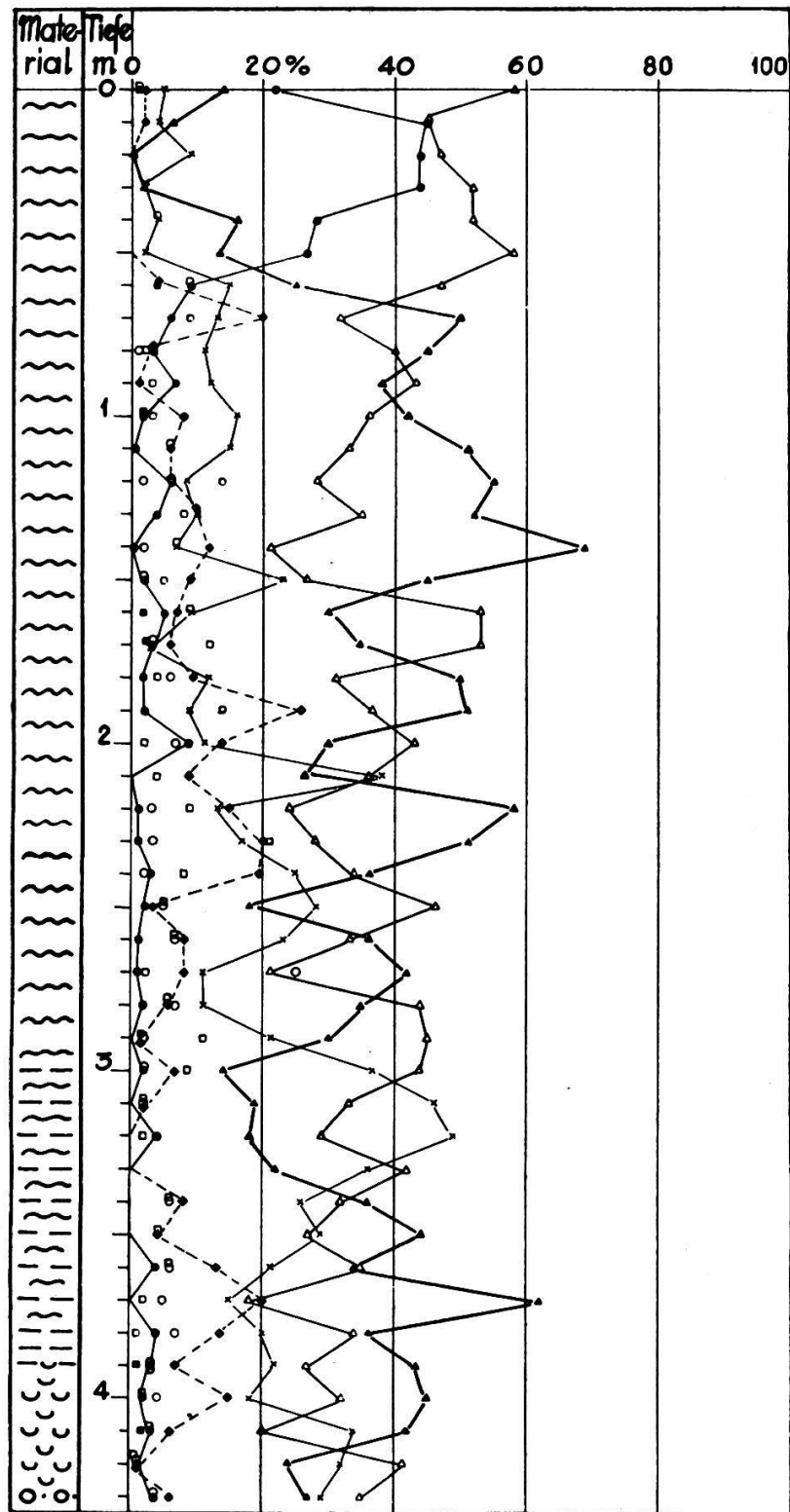


Abb. 8. Reutigenmoos, Sewelisd. Junges, vollwüchsiges Sphagnummoor.
Buchenzeitenreihe!

720 m Meereshöhe. Das Moor hat ca. 15 ha Flächeninhalt. Es wurde besonders in den Kriegs- und Nachkriegsjahren 1916/20 teilweise abgetorft. Einer weitem Abtorfung stand das hohe Grundwasserniveau im Wege. Nach Aussagen der Anwohner sind aber immerhin 2, stellenweise bis 3 m Torf ausgebeutet worden. Ich fand diese Angaben bestätigt, indem der Grundwasserspiegel schon in 20 cm Tiefe erschien und der Torf an verschiedenen Stellen ein äußerst wässeriger Hypnumtorf oder Moosdy war oder Gytjtja-Charakter hatte.

Diesen Verhältnissen entspricht die lange nacheichenmischwaldzeitliche Entwicklungsreihe, die ein hübsches Analogon zu unserer Buchenzeitenreihe darstellt (Abb. 9). Wenn man die Reihe um die abgetorften 2 m verlängert, so ist sie nicht weniger eindrucklich als im Faulenseemoos. Die Buchendominanzen sind zwar etwas weniger ausgeprägt, wohl deshalb, weil die fichtenpollenliefernden Höhenlagen hier ringsum näher an das Moor treten und die Fichte mehrfach in nassen, an moorigen Stellen der Umgebung und in kiesigen Uferstreifen günstige Standorte fand. Es dürfte sich lohnen, dem Moor weitere Profile an stratigraphisch vielleicht noch günstigeren Stellen zu entnehmen.

Andere Bohrungen im freiburgischen und bernischen Alpenvorland blieben bis jetzt insofern ohne Aufschluß über das Problem der Buchenzeitenreihe, als ihre Pollenkurven nicht weit über die EMW-Zeit hinausreichen. Es sei festgehalten, daß sie entweder stark abgetorft sind oder spezielle Uferlagen einnehmen.

c) Die Tiefenverhältnisse und die Eichenmischwaldzeit: Profile VI und VII.

Die Profile I—V hatten derart interessante stratigraphische Verhältnisse aufgezeigt und waren für die Aufhellung der neuesten Waldentwicklung so ergebnisreich gewesen, daß eine Ausdehnung der Untersuchungen auf weitere Moorteile wünschenswert schien. Die tiefste Moorstelle war noch nicht einwandfrei aufgefunden, und doch versprach gerade sie die rezentesten Pollenspektren. Ich dehnte deshalb die Bohrungen mooraufwärts aus und stellte genauere Nivellierungsmessungen für die Mooroberfläche an.

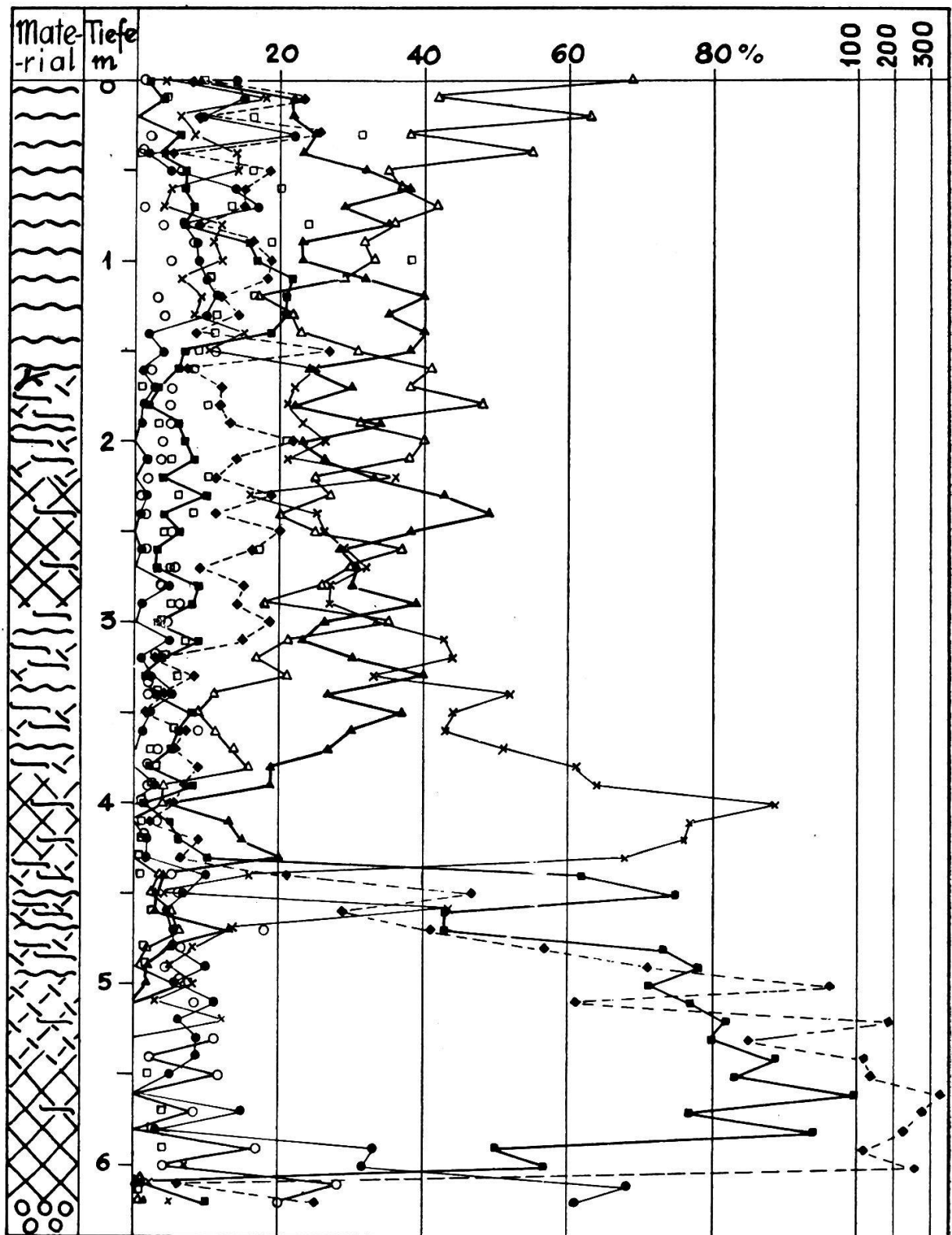


Abb. 9. Pollendiagramm aus dem Torfmoor von Echarlens im Greyerzerland (höchster Haselwert 335 %. Dem Profil fehlen 2—3 m, die abgetorft sind).

Eine Bohrung VI, 80 m vom obern Moorende herunter, ergab 1,5 m stark zersetzten Flachmoortorf über Moränenmaterial. Das äußerst pollenarme Material zeigte schon in den untersten Proben vorwiegend Tanne und Fichte, woraus wir den Schluß ziehen, daß sich das Moor erst in relativ später Zeit so weit hinauf ausdehnte. Die atlantische Zeit mit ihren vermehrten Niederschlägen dürfte den Grundwasseraustritt vermehrt und die Gips-trichterauswaschung und -senkung begünstigt haben. Der oberste Moorteil ist also erst seit etwa 3000 bis 2000 v. Chr. Moor.

Etwa in der Mitte zwischen dieser Probebohrung und Profil II wurde eine weitere Bohrung (VII) ausgeführt. Der oberste Abschnitt zeigte auch hier stark zersetzten Flachmoortorf bis 285 cm Tiefe. Beschaffenheit und Zersetzungsgrad wechselten aber mehrfach. So fanden sich bei 160—170 cm Holz, bei 90 und 120 bis 130 cm deutliche Kohlerestchen. Darunter fand sich bis zu 386 cm Tiefe Kalkgyttja wechselnder Zusammensetzung. Von 386 bis 800 cm erschien helle, unten gelbliche Seekreide, die sich von 800—900 cm in grauer Tönung fortsetzte.

Die pollenanalytische Untersuchung ergab für den Flachmoortorf hohe Tannenprozentage, die wohl durch selektive Zersetzung gesteigert waren. Vielfach war es aber unmöglich, brauchbare Resultate zu erhalten. Zwei niedere Buchengipfel dürften der 1. und 2. (?) Buchenzeit der Profile III, IV und V entsprechen, so daß wenigstens die Bildungszeit des Flachmoortorfes vergleichsweise feststeht (Abb. 10).

Die Probleme des EMW-Abschnittes sind mannigfacher Art und sollen z. T. später weiterverfolgt werden. Das Profil VII zeigt, daß die EMW-Phase in der Gegend von Faulensee-Spiez in eine ausgeprägte Haselphase und eine EMW-Phase im engeren Sinn zerfällt. Von 790—590 cm Tiefe ist der Haselpollen (mit der einzigen Ausnahme bei 630 cm) stets bedeutend stärker vertreten als der Pollen der eigentlichen Waldbäume. Der Anteil der Hasel beträgt, auf die Waldbäume bezogen, meist über 150 %, in vier Proben gar über 300 %, in einem Fall (bei 730 cm) selbst 456 %.

Berechnet man die Hasel wie üblich außerhalb der Pollensumme, so erhält man Werte, die entweder gar nicht aufgezeichnet werden können oder dann, wenn sie aufgezeichnet sind, eine höchst unwahrscheinliche Massenausbreitung vermuten lassen. Das sind äußere, praktische Erwägungen, die es mir nahelegten, die Hasel in allen Diagrammen in die Pollensumme einzurechnen. Besonders wichtig schienen mir aber noch folgende

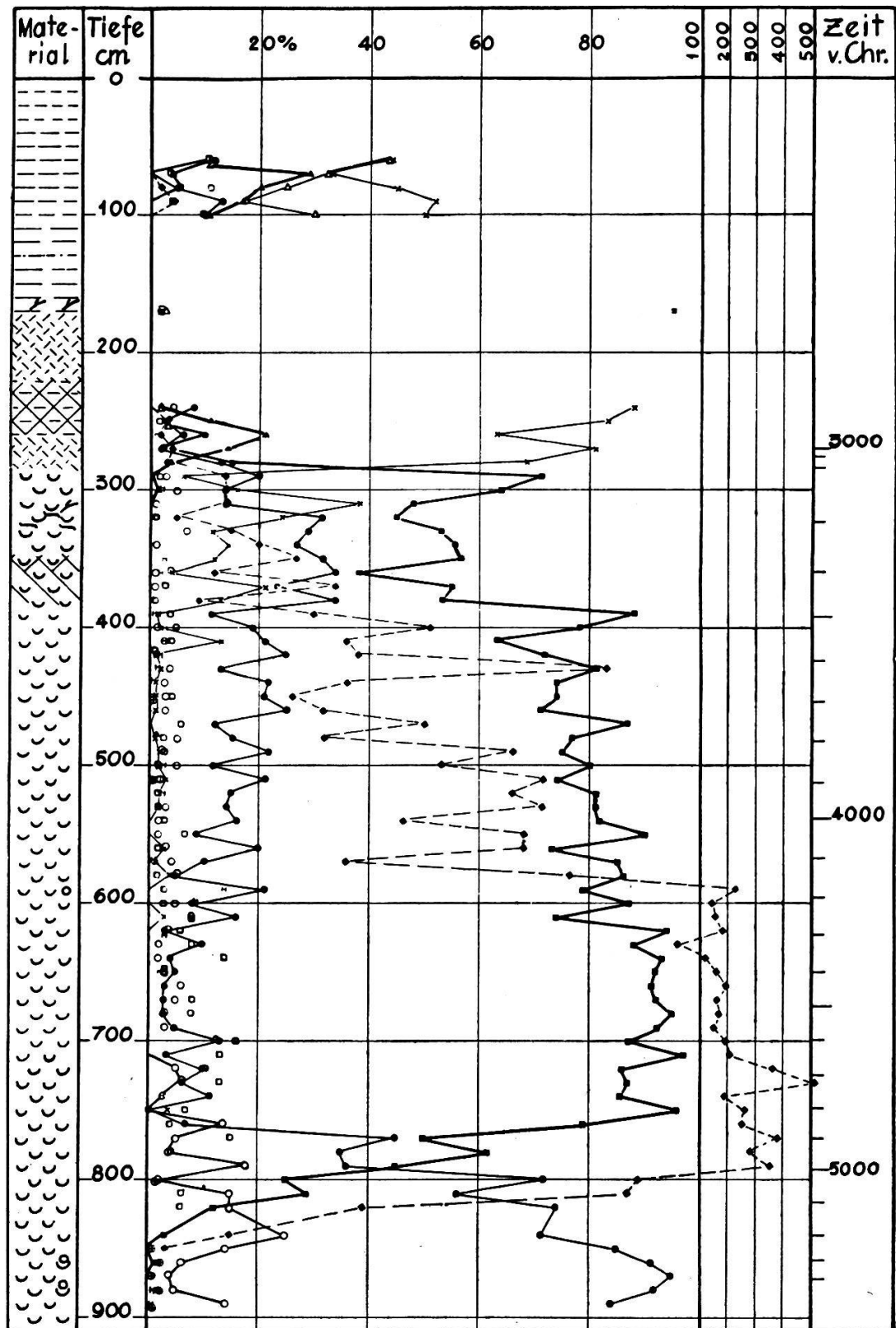


Abb. 10. Faulenseemoos. Pollendiagramm VII.

Argumente, die man für diese Darstellungsweise vorbringen kann: Die Hasel steht in ihren ökologischen Ansprüchen dem EMW nahe. Sie bildete sicher einen Bestandteil dieses und gab ihm in seiner Struktur den Charakter eines lichten strauchreichen Mischwaldes. Auch hat sie sich unter jenen ihr so günstigen Verhältnissen wohl zu einem Halbbaum entwickelt und ist im Waldbild stärker hervorgetreten als man vielleicht denkt. — Wie in der Natur dem Wald ein gewisser Lebensraum zur Verfügung steht und Vermehrung der einen Komponente eine Verminderung der andern bedingt, so ist bei einfacher Betrachtungsweise des Diagramms der 100 %-Rahmen gleichsam die feste und stets gleiche Grenze des Lebensraums, und diese Grenze sollte nicht doppelt erfüllt oder gar überschritten werden. — Liegen Spektren aus dem Gebiet intensiver Kulturen vor, so gehört die Hasel der Lebhäge so gut ins Gehölzbild einer Gegend wie die Eichen, die als Grenzbäume oft stehengelassen, früher als Nutzbäume wohl besonders geschützt und gehegt wurden. — Wenn man den Gesichtspunkt berücksichtigen will, nur Zusammengehöriges in die 100 % einzubeziehen, so müßte man im Verlauf eines Diagramms wohl bald die eine, bald die andere Komponente eliminieren, im EMW jedenfalls die Erle und die Birke, in Diagrammen von bewaldeten Moorteilen die Moorwaldbestandteile, auch lokale Moorrand- und Seeufergehölze. — Es gibt freilich auch Gründe, die für die Elimination gewisser Komponenten sprechen. So ist es vielleicht wünschenswert, eine durch Kulturmaßnahmen eingebrachte Komponente für sich zu berechnen, wenn man die Veränderung der natürlichen Artenkombination darstellen will, oder falls man mit einem Diagramm vergleichen will, das diese Komponente nicht aufweist. Ich halte die Elimination wichtiger Gehölzkomponenten überhaupt für ein methodisches Mittel der Analyse und des Vergleichs von Diagrammen. Die Elimination der Hasel kann deshalb nur den Sinn haben, das Verhältnis des EMW zu andern Waldbäumen (z. B. der Kiefer) in seinen Variationen zu untersuchen, oder aber das Verhältnis von Eiche, Linde und Ulme bei möglichst gleichbleibender Summe der drei Arten darzustellen. Im letzten Fall setzt man aber besser die Summe von Eiche, Linde und Ulme gleich 100 % und eliminiert alle andern Komponenten. — Schließlich konkurrieren sich Hasel-Gebüschwald und EMW bis zu einem gewissen Grad auch, sei es unter dem Einfluß kleinerer klimatischer Schwankungen oder der Großschwankung, die die Haselzeit in eine EMW-Zeit überführte. Diese Einflüsse auszuschalten, hat meines Erachtens vor einer speziellen Betrachtung keinen Sinn. — Trotzdem halte ich mich an die in der Pollenanalyse Gewohnheit gewordene Darstellung der Hasel außerhalb der Baum-pollensumme, um die Vergleichbarkeit mit Diagrammen aus andern Gegenden nicht zu beeinträchtigen. Gleichzeitig wird damit dem Umstand Rechnung getragen, daß die Hasel den neuern Wäldern der Tanne, Buche und Fichte wohl nicht mehr direkt angehört hat, sondern sich auf die Waldränder und Rodungsgebiete konzentrierte.

In diesem Sinne erlaube ich mir aber, entgegen der üblichen Darstellungsweise zugleich mit der Hasel auch die Erle außerhalb der Baum-pollensumme darzustellen. Sie ist heute ein ausschließlicher Bestandteil der genetisch jungen Auenwäldchen der Gegend und spielt weder in unsern Wäldern, noch sogar auf nassen Böden eine nennenswerte Rolle. Als Wasserrand- und Sumpfbodenbesiedler mag sie im Lauf der postglazialen Waldgeschichte eine gewisse Bedeutung gehabt haben; im Gesamtwaldbild unserer Gegend war sie aber wohl stets bedeutungslos. Als Baumart, die sich durch Stockausschläge leicht regeneriert, dürfte die

Erle jeweils aus Rodungen an wasserreichen Schattenhängen Vorteil gezogen haben und so heute Indizien für die Rodungstätigkeit des Menschen darstellen, ähnlich wie die Hasel auf trockenen Gebieten.

Profil VII zeigt außer der Hauptgliederung in eine EMW-Phase und eine Hasel-EMW-Phase eine reichgegliederte Kurvenentwicklung, wo weder von einem Haselgipfel, noch von einem EMW-Gipfel gesprochen werden kann. Vielmehr streben die Werte der Dominanten in beiden Phasen gleich am Anfang zu einer charakteristischen Höhe an und behalten diese Höhe mit kleinern Schwankungen bis zum Ende der Phase.

Die Haselphase des Profils VII zeigt einen typischen Beginn am Ende der Kiefernphase: Ein kleiner breiter Birkengipfel von 22 % Höhe bereitet den Abbau des Kiefernwaldes vor. Profil VII erweckt den Eindruck, daß sich Hasel und EMW gerade im Moment der sich stärker entwickelnden Birke auszubreiten beginnen. Immerhin steigen die Werte der Birke etwas früher und stärker an als die EMW- und die Hasel-Prozente. Dieser Abschnitt kann im Profil X nochmals genauer geprüft werden.

Über die Reihenfolge der Einwanderung wärmeliebender Arten nach Faulensee folgt aus Diagramm VII: Hasel, Ulme und Linde erscheinen fast gleichzeitig. Schon nach den allerersten Anfängen dominiert zahlenmäßig die Hasel über die Ulme und die Linde, die Ulme aber über die Linde. Bei 820 cm erscheint die Erle und zuletzt (erst bei 790 cm) erscheint die erste Eiche; sie ist von da an aufwärts in allen Spektren vertreten, weshalb erste Spuren bei weiterer Untersuchung noch etwas früher feststellbar sein dürften.

Durch die ganze EMW-Zeit im weiteren Sinne dominiert von den drei Komponenten des EMW stets die Ulme mit Werten von 50—70 %. Ihr folgen die beiden andern Komponenten, Linde und Eiche, in der Haselzeit mit fast gleichen Prozentzahlen. In der EMW-Zeit im engeren Sinn bewegt sich die Linde zwischen 20 und 30 %, die Eiche zwischen 9 und 17 %.

Der Wendepunkt zwischen Hasel- und EMW-Zeit ist viel weniger ausgeprägt als Anfang und Ende der gesamten Entwicklung. Man kann nämlich den ganzen Abschnitt auch darstellen als mehr oder weniger kontinuierlichen Übergang von einer Zeit mit viel Hasel und weniger EMW zu einer solchen mit wenig Hasel und viel EMW. Der Haselabfall erfolgt ganz in diesem

Sinn; der EMW-Anstieg wird bei etwa 470 cm gestoppt durch stärkere Ausbreitung der Kiefer und das neue Auftreten der Tanne als später abbauender Komponente des EMW. Der Wendepunkt (580 cm) zeigt aber immerhin außer dem charakteristischen Schnittpunkt der Hasel- und EMW-Kurve eine von da an stärkere Vertretung der Kiefer (7—30 %) und eine von da an fast lückenlose Anwesenheit der Tanne. Wesentlichen Anteil nahm die Tanne an der Waldzusammensetzung allerdings erst von 410 cm an. (Ich halte dafür, daß der alleroberste Abschnitt des EMW in Profil VII, etwa von 290 cm an, infolge des Übergangs zu Flachmoortorf und vorübergehender Austrocknung etwas verkürzt ist.)

Außerordentlich interessant ist das stoßweise Anwachsen der Tanne im EMW. Ich bin der Auffassung, daß wir hierin den Ausdruck kleinerer klimatischer Schwankungen erblicken müssen, die aber nicht diesem Abschnitt eigen sind, sondern in ihm besonders handgreiflich zum Ausdruck kommen. Die gleiche Erscheinung zeigt sich sonst noch vielfach (vgl. auch Profil Echarlens, Abb. 9).

d) Ausbau: Moormitte und jüngste Schichten; Profil IX.

Pollenanalytische Diagramme und Nivellierungsmessungen hatten die wahrscheinliche Lage der Moormitte ermitteln lassen. Ich brachte mit einem bis auf 12 m verlängerten Kammerbohrer eine weitere Bohrung zwischen Profil II und IV an. Der Zweck der Untersuchung dieses Profils IX war: Fahndung nach den rezentesten Abschnitten; genauere Untersuchung der in Profil IV gefundenen Jahresschichtchen; Aufstellung eines detaillierten Diagramms im Sinne eines weitem Ausbaus und zu Vergleichszwecken.

Um diesen Anforderungen zu genügen, wurden die Proben mit allergrößter Vorsicht und alle 5 cm entnommen. Da die Einzelproben 2—3 cm Schichthöhe umfassen, ist damit rund die Hälfte des Sedimentmaterials herausgehoben worden. Die pollenanalytische Untersuchung wurde freilich nur von 800—1200 cm in 5-cm-Abständen durchgeführt, oberhalb 800 cm begnügte ich mich mit solchen von 10 cm. Im ganzen sind über 150 Proben analysiert worden. Fast in jeder Probe wurden 100 Pollen ausge-

zählt. Um auch die Arten mit kleinsten Prozentsätzen richtig zu erhalten, hätte man das Mehrfache auszählen müssen, was ich mir bei der großen Zahl von Proben nicht leisten konnte. Von 400 cm an aufwärts wurden zufolge einer gewissen Pollenarmut der Sedimente mehrfach nur 50 Pollen ausgezählt.

Stratigraphie und Sedimentanalysen.

Die obersten paar Dezimeter des Profils waren torfig-schlammige Ablagerungen eines verlandenden Schilfteichs. Darunter fand sich bis 92 cm Schilftorf mit Holzspuren. Darunter folgte Kalkgyttja, die bald braun und gyttjaartig, bald weiß und seekreidig war. Erst unterhalb 1173 cm stellte sich mehr oder weniger reine graue Seekreide ein. Zur Illustration des häufigen Wechsels in der Zusammensetzung sei ein Teil des Bohrprotokolls ausführlich wiedergegeben:

| | |
|--------------|--|
| 92— 112 cm | Übergänge zu Kalkgyttja. |
| 112— 115 cm | Holz (Abies?). |
| 115— 135 cm | feinsandige Gyttja. |
| 135— 158 cm | schlammige Gyttja. |
| 158— 172 cm | Seekreide und Gyttja, verschwommene Wechsellagen. |
| 172— 250 cm | Kalkgyttja, mehrfach wenig Seekreide. |
| 250— 280 cm | graubräunliche Gyttja. |
| 280— 308 cm | schwarze Gyttja, schwammig. |
| 308— 315 cm | schwarzbraune Gyttja. |
| 315— 322 cm | schwarze Gyttja. |
| 322— 337 cm | grauschwarze Gyttja. |
| 337— 367 cm | mehr oder weniger schwarze Gyttja. |
| 367— 392 cm | braunschwarze Gyttja. |
| 392— 400 cm | graue Kalkgyttja (etwas schichtig). |
| 400— 425 cm | graue Kalkgyttja mit viel Schneckenhäuschen. |
| 425— 445 cm | braune Gyttja, unten oliv. |
| 445— 449 cm | tonige Zwischenschicht. |
| 449— 465 cm | graue Gyttja. |
| 465— 468 cm | tonige Zwischenschicht. |
| 468— 730 cm | braune Gyttja (505—512 cm etwas grau; 565—570 cm schichtig). |
| 730— 750 cm | heller, seekreidig. |
| 750— 825 cm | Kalkgyttja mit Seekreideschichtchen. |
| 825— 850 cm | braune Gyttja. |
| 850—1153 cm | Kalkgyttja mit Seekreideschichtchen (bei 1056, 1071, 1080 cm Tonschichten von 2—3 mm Dicke, dazwischen, besonders unterhalb 1069 cm, mehrere kleine, 1 mm dicke Tonschichtchen). |
| 1153—1173 cm | braune Gyttja ohne Schichten, mit etwas Schnecken. |
| 1173—1200 cm | graue Seekreide. |

Einer Anregung Herrn Dr. Lüdís Folge gebend, führte ich Kalkbestimmungen bei einer großen Zahl (110) der Proben durch. Die Ergebnisse sind dem Diagramm Abb. 11 beigelegt. In Kalkgyttjen mit häufigen tonigen Einschwemmungen sind zwar Kalkgehaltsprocente von beschränktem Wert, solange man über die zwei andern Komponenten, die organische und die tonige, nicht Anhaltspunkte besitzt. Zudem stammt bei starker mineralischer Einschwemmung ein beträchtlicher Teil des Kalkes aus dem eingeschwemmten Mergel und ist dann nur durch weitere Analysierung des Materials und auch dann nur schätzungsweise vom organischen Kalk zu trennen. Auch wissen wir über das Vorhandensein oder Fehlen der physikalischen Kalkfällung wenig Bestimmtes. Immerhin spricht folgender Umstand gegen eine wesentliche Rolle der physikalischen Kalkfällung: Im östlichsten Teil des Faulenseemooses finden sich mehrere Meter mächtige Seekreideschichten reiner Ausbildung (bis 93 % Kalk in der lufttrockenen Masse) hart unter der dünnen Flachmoortorfschicht; im mittlern, tiefsten Teil des Moores sind die zeitlich entsprechenden Schichten in 12 m Tiefe nur wenige Dezimeter dick und weisen außerdem meist weniger als 70 % Kalk auf (Ton-, also Mergelbeimischung!); daraus folgt, daß es sich meist nicht um eine durch die Wassertemperatur bedingte Kalkfällung handeln kann, sonst dürften die tiefsten Schichten nicht soviel weniger mächtig sein als die randlichen. (An eine Wiederauflösung gefällten Kalkes in tiefern Schichten ist bei einer so geringen Wassertiefe kaum zu denken; diese tiefere Schicht wäre selbst bei der Annahme fehlender mechanischer Durchmischung bald gesättigt.) Wie ich der botanischen Literatur entnehme, besteht diese Ansicht über das Ausmaß der physikalischen Kalkfällung ziemlich allgemein.

Eine erste Würdigung der Ergebnisse dieser Kalkgehaltsbestimmungen hatte gezeigt, daß die makroskopisch beurteilten Sedimente mehrfach eine falsche Bezeichnung erhalten hatten: Seekreide mit über 80 % Kalk gab es überhaupt nicht; die Kalkgyttja war von außerordentlich verschiedener Zusammensetzung. Auch die Zuhilfenahme von Notizen über den Gehalt an Schluff, die ich anläßlich der mikroskopischen Pollenanalyse gemacht hatte, vermochte die Kalkgehaltskurve nicht sonderlich sinnvoll erscheinen zu lassen. Viel eindeutiger waren die Ergebnisse in

spätglazialen Schichten gewesen, wo das organische Material neben der Seekreide und dem Ton fast fehlt.

Es ist aber auch nicht verwunderlich, daß eine Kalkgehaltskurve dieser komplexen Sedimente nicht sinnvoller ist. Über den Wechsel und die quantitative Vertretung der kalkfällenden Vegetation wissen wir ja sonst nichts, über die Abhängigkeit der Seekreidebildung von klimatischen Faktoren nicht viel mehr. Die Anschauungen über Bodenreifung legen den Gedanken nahe, daß bei zunehmender Bodenauslaugung der Kalkgehalt eines Bächleins, das nicht durch eigentliches Kalksteingebiet fließt, abnehmen müßte und so für die Seekreidebildung ein Minimumfaktor werden könnte. Unsere Kalkgehaltskurve scheint etwas für diese Entwicklungsrichtung zu sprechen, doch nur scheinbar: Die Gipfel der Kalkgehaltskurve sind im ganzen Kurvenverlauf gleich hoch. Andererseits sind tiefe Werte in den oberen Schichten wohl infolge vermehrter Toneinschwemmung der neuern Zeiten häufiger und extremer. Zudem stammt ein Teil des Zuflusses aus dem Kalksteingebiet des Hondrichhügels. Schließlich wirkt aber dem Sichtbarwerden der Kalkgehaltsverminderung eine andere Erscheinung entgegen: wenn die Sedimentoberfläche steigt, wird sie Standort der wurzelnden Wasservegetation; diese, oder doch ihr Milieu, ist im Faulenseemoos der ausschließliche Ort der Seekreidebildung gewesen; nur die wenige Meter tiefen Uferzonen weisen eigentliche Seekreide auf. Diese Erscheinung könnte die verminderte Kalkführung des Zuflusses scheinbar ins Gegenteil verdrehen. Das ist tatsächlich der Fall trotz den sonst bestehenden Deutungsschwierigkeiten der Kalk-Relativkurve: bei Berücksichtigung der mehrfachen Wachstumsgeschwindigkeit der oberen Schichten (1—5 m) ist die absolute Kalkausfällung der oberen Schichten das Anderthalb- bis Dreifache derjenigen der tiefsten Schichten ein und desselben Profils (10—12 m). Vergleicht man aber geringe Schichttiefen (1 bis 5 m) verschiedener Profile, so fällt auf, daß ältere Profilabschnitte (Kiefern- und EMW-Zeit) absolut viel größere Kalkausfällung aufweisen (rund das Dreifache) als jüngere. Diese Tatsache kann für eine zunehmende Kalkauslaugung der Moorumgebung sprechen, tut es aber so lange nicht, als man die biologischen und mikroklimatischen Bedingungen der Kalkfällung in den verschiedenen Zeiten nicht berücksichtigen kann.

In ihrer Deutung zugänglicher sind die Tongehalte und die Gehalte an organischer Substanz. Ich ergänzte deshalb meine Kalkbestimmungen durch Bestimmung der organischen Substanz.

Methodisch löste ich die Aufgabe so: durch Erhitzen kleinster, feingepulverter, lufttrockener (Zentralheizung!) Sedimentmengen in flachem, offenem Eisengefäß über kleiner Spiritusflamme erreichte ich, daß das Organische in Rauch aufging und doch dabei der Kalk intakt blieb. (Da die CO_2 -Spannung bei 600° erst 2,35 mm Hg beträgt, halte ich die Durchführung für einwandfrei; das Eisengefäß erreichte nämlich nie Rotglut.) Durch mehrfache Kalkgehaltsbestimmung nach dem Erhitzen (natürlich unter Berücksichtigung des Gewichtsverlustes) konnte ich ganz befriedigende Übereinstimmung mit meinen frühern Kalkgehaltsbestimmungen feststellen. Die mikroskopische Kontrolle zeigte zudem, daß wirklich alles Organische verschwunden war. Der festgestellte Gewichtsverlust umfaßt das brennbare organische Material und den Wassergehalt bei Lufttrockenheit. Dieser Mitläufer, der Wassergehalt, dürfte einen kleinen Teil des ganzen Gewichtsverlustes ausmachen, da der Gewichtsverlust selbst in mehreren Proben unter 10 % blieb (wird freilich bei vermehrtem Gehalt an Organischem auch etwas steigen).

Durch Subtraktion des Kalkgehaltprozentes und des Prozents für das Organische von 100 % erhielt ich auch das Tongehaltsprozent. Feststellungen an spätglazialen sogenannten «blauen» Tonen hatten mich belehrt, daß die mineralische Einschwemmung in unserem Kalkgebiet nie eine reine Toneinschwemmung ist, sondern stets 25—40 % Kalk enthält (weshalb man jene «blauen» Tone besser Seemergel nennt). Diese Tatsache läßt einmal mehr erkennen, wie schwer die Beurteilung einer Kalkgehaltskurve in Sedimenten mit Einschwemmung ist. Es liegt nahe, diesem Übelstand abzuhelpen durch Bestimmung des organisch ausgefällten Kalkes als Differenz des Gesamtkalkes und des Einschwemmungskalkes. Die Schwierigkeit liegt nur in der Bemessung des Kalkgehaltsprozentes der eingeschwemmten Sedimente. Gegenüber den vorhin angegebenen Zahlen von 25—40 % der Einschwemmungen aus dem mineralischen Rohboden der Moränen sind die Mergel späterer Zeiten sicherlich kalkärmer; das zeigt sich deutlich an verschiedenen Proben der Reihe, deren Gesamtkalk nicht das obige Prozent der mineralischen Einschwemmung erreicht. Ich setzte deshalb in erster grober Näherung fest, daß eingeschwemmte Mergel seit der Kiefernzeit 20 % Kalk enthalten. So vergrößerte ich die Tongehaltsprozente durch Multiplikation mit 1,25 zu Prozenten der Mergel einschwemmung.

Durch Subtraktion dieser Vermehrung vom Gesamtkalk errechnete ich den *organisch* (und eventuell physikalisch) *ausgefällten Kalk* in erster Näherung. Dieses sind die Prozentwerte, die dem Diagramm in Kurvenform beigegeben sind. Die Fehler der Einzelwerte können schätzungsweise $\pm 5\text{--}10\%$ erreichen, da meist nur geringe Sedimentmengen zur Verfügung standen. Kleinere Schwankungen dürfen deshalb nicht weiter ausgedeutet werden.

Die allgemeinen Ergebnisse dieser Sedimentuntersuchungen sind folgende: Eine große Überraschung bildete für mich der vielfach enorme Gehalt an *Einschwemmungsmergel*. An vielen Stellen des Profils wäre die Bezeichnung *Tongyttja* durchaus am Platze: nur in 10 von 100 Fällen geht das Prozent der Einschwemmung unter 25% , während es in fast der Hälfte aller Fälle 50% übersteigt (Maximum bei 450 cm: 89%). Abgesehen von diesen Einschwemmungen sind die an Ort und Stelle gebildeten Sedimente fast durchwegs *Kalkgyttjen*; nur die Proben aus 900, 600, 540, 500, 470, 450 cm stellen sich als *reine Gyttjen* und nur diejenigen aus 1200—1180, 1140, 1100, 1090, 1000, 950, 810, 780—760 und 410 cm Tiefe als *eigentliche Seekreiden* heraus.

In der Verteilung der Mergelinschwemmung über das ganze Profil fällt auf, daß die untern Teile (etwa von 980—1200 cm) viel weniger Mergel aufweisen als die obern. Das kann von geringern Niederschlägen, größerer organischer Stoffproduktion oder Kalkfällung, dichterem Bewaldung in älterer Zeit herrühren oder von ursprünglich andern Zuflußverhältnissen oder Wasserströmungen. Eine Entscheidung zugunsten einzelner dieser Ursachen kann erst im Zusammenhang mit Pollenkurven und Tatsachen des Jahreszuwachses gefällt werden (s. S. 188/189).

Die feinern und vielfach sehr intensiven Schwankungen der Einschwemmung können durch dieselben Ursachen bedingt sein. Doch sind sicher nur in wenigen Fällen Änderungen des Zuflußortes und der Wasserströmungen maßgebend. Auch sind derart zahlreiche und abrupte und intensive Änderungen in der organischen Stoffproduktion und Kalkfällung unwahrscheinlich. Man darf die Prozentkurven dieser Größen zur Beurteilung dieser Frage nicht direkt benützen; denn jede Änderung des Einschwemmungsprozentes ändert rein rechnerisch die zwei andern

Größen im entgegengesetzten Sinn. Der Umstand jedoch, daß weitaus die meisten starken Einschwemmungsänderungen mit entgegengesetzt gleichsinnigen Änderungen der zwei andern Komponenten verbunden sind, läßt den Wahrscheinlichkeitsschluß zu, daß meist die Einschwemmungsänderung die primäre Ursache der Kurvenschwankung ist. Wenn die Einschwemmungsänderung klimatisch bedingt war, dürfte allerdings häufig auch das Sedimentationsverhältnis von Gytta und Seekreide geändert worden sein. Auch beeinflusste der eingeschwemmte Mergel selbst die Wasservegetation stark in Entwicklung und Stoffproduktion. — Wenn für den Vergleich weit auseinanderliegender Profilabschnitte die Bewaldungsdichte und der Umfang der Waldreutungen stark berücksichtigt werden müssen, so ist das innerhalb enger Profilausschnitte viel weniger nötig. Wohl kann der eine oder andere Anstieg des Einschwemmungsprozentes dadurch bedingt sein, daß im beschränkten Einzugsgebiet meines Bächleins größere Rodungen stattgefunden haben; aber die Mehrzahl der 30 Einschwemmungsanstiege meines Profils ist nicht durch 30 Neu-rodungen erklärbar. Man darf deshalb mit größter Wahrscheinlichkeit schließen, daß die meisten Einschwemmungsschwankungen klimatisch, und zwar wohl vorwiegend durch Niederschlagsschwankungen bedingt sind, und daß Waldreutungen fast nur die Intensität dieser Schwankungen, diese freilich nachhaltig, beeinflusst haben. Da durch Ausgrabungen auf der direkt am Faulenseemoos liegenden Bürg durch Tschumi (1938) nachgewiesen ist, daß die Gegend in der Früh- und Spätbronzezeit intensiv besiedelt war, sind verstärkte Einschwemmungsschwankungen von dieser Zeit ab zu erwarten.

Die Deutung und Wertung der Kurve des organischen Anteils der Sedimente ist schon schwieriger. Primär deutet zwar vermehrte Stoffproduktion auf bessere klimatische Vegetationsbedingungen. Dabei kann man den Wasserfaktor für Wasservegetation weitgehend außer acht lassen, besonders wenn, wie im Faulensee, Wasserstandsschwankungen fast ganz fehlen. So dürfte vor allem der Wärmefaktor entscheidend beeinflussen. Größere Jahreswärme, Sommerwärme, vielleicht auch Winterwärme, stärkere und länger dauernde Insolation dürften auf eine Vermehrung des Organischen hinwirken. In gleichem Sinne

wirkt aber auch eine Niederschlagsverminderung, indem einerseits die Wassererneuerung langsamer erfolgt, andererseits verminderte Kalkzufuhr in das Seelein den relativen Anteil der See Kreide erniedrigen könnte. Es ist jedenfalls auffällig, daß die Maxima des Organischen in den Zeiten geringer Einschwemmung auftreten (z. B. in 1150, 1050, 1030, 900—880, 750—730, 480, 470, 400 cm Tiefe). Ob sie aber infolge vermehrter Wärme oder verminderter Niederschläge oder als Folge beider Erscheinungen auftreten, ist meist nicht zu entscheiden. Die beiden Faktoren haben aber schon klimatisch einen hohen Kopplungsgrad, so daß man Zeiten mit geringer Einschwemmung und großer organischer Stoffproduktion wohl als *t r o c k e n w a r m* bezeichnen darf. Entsprechend wären Zeiten mit viel Einschwemmung und wenig organischer Substanz als *f e u c h t k ü h l* zu bezeichnen. Der Abschnitt von 600—490 cm weist viel Einschwemmung und ziemlich viel organische Substanz auf; man müßte ihn nach dieser Auffassung als feuchtwarm, also mehr oder weniger ozeanisch bezeichnen. Es sei nicht verschwiegen, daß als Grund für vermehrte organische Sedimente auch eine Vermehrung des Laubwaldes gegenüber dem immergrünen Nadelwald und daherige vermehrte Laubeinblasung auf das Seelein in Frage kommen könnte. Immerhin handelt es sich um klimatisch ziemlich gleichsinnig zu deutende Ereignisse. Von einer Vermehrung der organischen Substanz durch die wurzelnde Vegetation in Tiefen bis etwa 6 m ist nicht viel zu spüren; möglich, daß die Oxydation vieles vernichtet hat, auch möglich, daß Wasserströmungen schon immer für eine gleichmäßige Verteilung gesorgt haben.

Am Schluß dieser Betrachtungen über die Sedimente des Faulenseeins sei zusammenfassend noch folgendes festgehalten: Das Seelein hatte zu fast allen Zeiten seit der letzten Eiszeit den Charakter eines eutrophen Gewässers mit reichlicher Mergelzufuhr und Kalkausfällung. Zu gewissen Zeiten sind freilich der Abbau der organischen Substanz und die organische Kalkausfällung so schwach gewesen, war auch vielleicht die Einschwemmung nur zur Zeit der Schneeschmelze im frühen Frühling vorhanden, daß das Seelein extrem eutrophen Charakter annahm. Diese Grenzlage zwischen niedrigem und hohem Eutrophiegrad charakterisiert das Gewässer und seine Sedimente und läßt den Namen des «Faulensees» als zu Recht bestehend erkennen.

Es ist für diese Grenzlage wohl bezeichnend, wie sich die Sedimente in trockenen Zeiten oft folgten (z. B. 1070—1030 cm, 820—800 cm, 760—720 cm, 650—640 cm, 490—460 cm, 440 bis 390 cm). Nach der feuchten Einschwemmungsperiode bildete sich erst eine Seekreidephase, dann erst eine Gytjtjaphase aus. Wo die Austrocknungsphase zu kurz dauerte zum vollen Ablauf dieser Entwicklung, zeigt sich in ihr nur eine Seekreidephase (z. B. bei 1120, 1000, 850, 780, 710 cm und oberhalb 360 cm mehrmals).

In ähnlicher Weise dürfte der Jahreszyklus der Ablagerungen verlaufen sein:

| | | |
|---------------------|------------|-------------------|
| Frühjahr | Frühsommer | Spätsommer-Herbst |
| Mergeleinschwemmung | Seekreide | Gyttja |

Damit ist aber ein Vorgang am Werk, dessen Ergebnis infolge auffälliger Farbverschiedenheit der Sedimente auch später noch als Jahreszyklus erkennbar ist, sofern nicht sekundäre Materialverschiebungen die Feinschichtung verwischen. (Genaues hierüber im Abschnitt V, a.)

Wenn auch in diesen Beobachtungen die eine oder die andere Erscheinung allzu schematisch gedeutet wird, so scheint sich doch in einer verfeinerten, quantitativen Sedimentuntersuchung eine wertvolle Ergänzung zu andern Beobachtungen zu bieten. Diese wird um so besser begründet sein, je mehr wir limnologische Erscheinungen erfassen und klimatisch deuten lernen. Wertvoll scheinen mir in diesem Zusammenhang die beiden grundlegenden Untersuchungen G. v. Bürens über den Gerzensee (1935) und den Amsoldingersee (1937), um so mehr als beide Seelein in unmittelbarer Nachbarschaft und gleicher Meereshöhe mit dem Faulenseemoos liegen und eine ähnliche morphologische Tiefenstruktur aufweisen wie das einstige Faulenseelein. Es scheint mir, daß die wohl etwas stärkern Einschwemmungen des Faulensee-leins einen gewissen Unterschied, besonders im Tempo des Abbaus organischer Substanz geschaffen haben. Wir müssen bei der Besprechung der Jahresschichtung auf einen Punkt näher eingehen (S. 121).

Das Pollenprofil IX (Abb. 11).

Mit dem 12-m-Bohrer wurde das Profilende auch hier nicht erreicht. Es scheinen dem Profil nur wenige Dezimeter zu fehlen. Der Anfang liegt zwar möglicherweise nicht am Ende der Birkenzeit, wie die ersten zwei Spektren nahelegen; es kann sich auch um einen Birkengipfel am Anfang der Kiefernzeit handeln. Auf diesen knappen Kiefernzeitabschnitt folgt ein ebenso knapper Haselzeitabschnitt mit 267 % Hasel. Gerade zur Zeit dieses Haselmaximums stellt sich die Tanne ein und bleibt von da an im Profil vorhanden; die erste Buche erscheint 10 cm höher. Man bekommt auch hier den Eindruck, daß dieser Abschnitt außerordentlich verkürzt ist und eine eingehendere Betrachtung erübrigt. Es sei nur erwähnt, daß im Profil IX erst die Linde, dann erst Hasel, Ulme und schließlich Eiche festgestellt wurden.

Eine vorläufig recht unerklärliche Besonderheit in der Sedimentation des Abies-Pollens macht sich im Eichenmischwaldabschnitt geltend beim Vergleich mit dem gleichen Abschnitt in andern Profilen sowohl, als auch beim Vergleich mit andern Abschnitten des gleichen Profils: Abies ist früh und gut vertreten; die Vorstöße sind stark, so stark oder stärker als an randlichen, untiefen Stellen des Faulenseeins, was auf gute Sedimentationsfähigkeit und fehlendes Abdriften durch Wasser oder Wind schließen läßt. Für Pinus dagegen ist ein Abdriften nach meinen Profilen für die gleiche Zeit deutlich feststellbar. Mit dem Ende der EMW-Zeit ändert die Erscheinung gründlich. Abies ist von da an in allen randlichen Profilen viel stärker vertreten als hier in der Moormitte, war also wohl ausgiebiger Abdrift ausgesetzt. Die Erscheinung erhält sich weit durchs Profil hinauf. Picea macht diese Besonderheit nicht mit, sondern ist in der Moormitte mindestens so gut vertreten wie in den Randpartien. Dieses Verhalten von Abies ändert das gewohnte Bild des ersten nacheichenmischwaldzeitlichen Abschnittes etwa bis zur 2. Buchenzeit stark. Die randlich festgestellte 1. Buchenzeit wird nicht mehr durch einen Abies-Vorstoß von der EMW-Zeit getrennt; sie setzt bei 1095 cm direkt an die EMW-Zeit an. Der kleine Abiesgipfel bei 1080 cm entspricht jener randlichen Dominanz. Es ist natürlich auch möglich, daß Fagus und einige andere Kleinpollen im offenen Wasser besser sedimentierten (windoffen) als am Rand und

so die Besonderheit von *Abies* unterstreichen halfen. Wahrscheinlicher scheint mir folgende Erklärungsmöglichkeit: Der relativ große und schwere Tannepollen sedimentiert ziemlich rasch und zu einem großen Teil schon in der Nähe der Tannenbestände. Vom Ende der EMW-Zeit an standen nun wohl dichtere Tannenbestände auf dem der Tanne besonders zusagenden Moränenboden dicht um das Faulenseelein, wodurch der Eindruck der Andrift entsteht. Vor der 1. Buchenzeit war die Tanne zwar in der Gegend vertreten, doch nicht in solcher Individuendichte, daß sich ein deutlicher Gradient von der Seemitte nach dem Ufer herausbilden konnte. Es scheint mir deshalb denkbar, daß der Tannepollen gut sedimentiert und der Windandrifft wenig ausgesetzt ist, während der Kiefernpollen nicht gut sinkfähig ist und vom Wind auf der Oberfläche an die Ufer verfrachtet wird. Jedenfalls hat auch Groschopf (1936) in den Sedimenten des Plönersees deutliche Abdrift des *Pinus*-Pollens mit dem Wind festgestellt, glaubt aber im übrigen, daß die Pollensedimentation infolge der Turbulenz des Wassers für gute und schlechte Schwimmer kaum verschieden erfolge. Wenn in der Folge die Fichte keine randliche Übervertretung zeigt, so wohl deshalb, weil die Fichte in unsern Tieflagen am Seeufer eben noch nie Massenvegetation bildete.

Als Folge dieser Besonderheit der Tanne folgt in Profil IX auf die EMW-Zeit eine lange eindrucksvolle 1. Buchenzeit. Sie ist bei 1035 cm durch einen recht kräftigen Hasel- und Erlenvorstoß begrenzt, der in andern, weniger detaillierten Profilen nicht sichtbar geworden ist. Ob er natürlich bedingt ist durch Austrocknung nasser Randgebiete des Moores (bei zunehmender Tanne?), oder ob schon hier eine künstliche Beeinflussung des Waldbildes durch Rodungen vorliegt, bleibe dahingestellt. Jedenfalls beginnt gleichzeitig die in andern Profilen so mächtig entwickelte Tannenzeit hier mit einer schwachen Dominanz von nur 50—60 %. Schon bald nach dieser Dominanz gerät die Tanne in regen Dominanzwechsel mit der Buche, während gleichzeitig die Fichte erste Vorstöße auf 20—30 % ausführt: 1. Buchenmischwaldzeit (1. BMW-Zeit). Überraschend starke Erlen- und Haselvorstöße auf vielfach über 100 % der Baumpollensumme durchzucken diesen Abschnitt und erhöhen die Unruhe des Kurvenbildes noch beträchtlich. Ich glaube, daß man in

diesem Abschnitt, der zudem noch durch starken relativen Rückgang der Linde und erste kräftige Dominanz der Eiche (unter den Komponenten der Eichenmischwaldbäume) gekennzeichnet ist, unbedingt Kultureinflüsse erkennen muß. In diesem Sinn sind vielleicht auch die erstmals so kräftigen Mergeleinschwemmungen zu deuten. Die vielgestaltige Entwicklung ist möglicherweise aber auch natürlich, durch kurze kräftige Trockenperioden unterstützt.

Mit der Tiefe 915 cm setzt eine ruhige Entwicklung bei verminderten Niederschlägen und größerer organischer Stoffproduktion ein: die 2. Buchenzeit. In ihr gehen Tanne und Fichte stark zurück; doch auch die EMW-Bäume sinken meist unter 10 %, und die drei Komponenten sind wieder fast gleich stark vertreten.

Bei 870 cm treten wieder Mergeleinschwemmungen auf, sinkt die Buchenkurve plötzlich ab, schnellt die Tanne empor, steigt die Fichte an, beginnt die Erle Schwankungen auszuführen, die Hasel bald auch mächtig anzusteigen, erhöhen sich die Eichenmischwaldwerte wieder auf rund 20 %, wobei die Linde für immer bedeutungslos wird, die Ulme zurückgeht und die Eiche mit 75 % der Eichenmischwaldkomponenten zur endgültigen Dominanz gelangt: 2. Buchenmischwaldzeit (2. BMW-Zeit). Kultureinflüsse sind auch hier sehr wahrscheinlich. Diese Vermutung wird kräftig gestützt durch relativ zahlreich auftretende Getreidepollenkörner. Sie sind übrigens vereinzelt auch schon in der Tannenzeit und 1. BMW-Zeit aufgetreten. Es wird allerdings gerade für diese ältesten Abschnitte stets etwas unsicher bleiben, ob es sich wirklich um Getreide- oder nur um großen Wildgraspollen handelt, wofür in unsern Gegenden *Elymus europaeus* Pollenlieferant sein könnte (F i r b a s, 1937).

Von etwa 760 cm an aufwärts bis 700 cm hebt sich eine 3. Buchenzeit mit etwas kleinern Dominanzwerten heraus, die abermals wahrscheinlich eine trockenwarme Zeit darstellt. Die Hasel- und Erlenschwankungen klingen ab, die Tanne, dann auch die Fichte gehen stark zurück; die Eichenmischwaldbäume sinken auf ca. 5 %. Getreidepollen sind wieder selten geworden.

Eine 3. Buchenmischwaldzeit (3. BMW-Zeit) schließt sich an von 690—610 cm Tiefe. Sie weist in ihrem ersten Teil

einige kurze Einschwemmungs- und Austrocknungsphasen auf; der zweite Teil ist gekennzeichnet durch gleichmäßig stetige Einschwemmungen bei ziemlich hoch bleibender organischer Stoffproduktion. In dieser zweiten Hälfte treten abermals schwächere Erlen und Haselschwankungen auf bei mehr oder weniger fehlendem Getreidepollen.

Die gewaltige 4. B u c h e n z e i t, die bei 600 cm einsetzt und bei 470 cm aufhört, scheint in ihrem Klimacharakter von ihren Vorgängerinnen abzuweichen: Sie ist in ihrer ganzen Länge von starken Einschwemmungen begleitet. Dagegen weist sie recht starke organische Stoffproduktion auf wie frühere Buchenzeiten oder eigentlich stärker als diese, wenn man bedenkt, daß die vermehrte Einschwemmung den relativen Anteil des Organischen automatisch herabsetzt. Es dürfte sich also um einen w a r m - f e u c h t e n Abschnitt handeln. Kultureinflüsse sind kaum nachzuweisen, wenn nicht die Buchenherrschaft selbst durch Kultur unterstützt worden ist; ein einziges Getreidepollenkorn fällt in diesen Abschnitt; das hohe Einschwemmungsprozent ist zwar wohl eine Folge der Kulturmaßnahmen. Die Buche dominiert mit rund 80—85 % der Waldbäume. Die Fichte tritt stark (5—15 %), die Tanne noch stärker (1—10 %), die Eiche fast ganz zurück (1—4 %); die Kiefer erscheint nur sporadisch.

In diesem, aber auch schon im vorhergehenden Abschnitt, besonders aber in allen nachfolgenden Abschnitten verliert die T a n n e gegenüber der F i c h t e immer mehr an Bedeutung; die Tanne erreicht nur noch ganz selten das Prozent der Fichte. Es mag sich dabei vereinzelt um einen natürlichen S u k z e s s i o n s - v o r g a n g handeln, doch spricht das stete Schwanken eher für kurzdauernde k l i m a t i s c h e Einflüsse. Der obere Profilabschnitt zeigt, daß mehrfach Fichtengipfel mit Zeiten stärkerer Einschwemmung und geringer organischer Stoffproduktion zusammenfallen. Daneben sind für diese Abschnitte intensive Kultureinflüsse sicher anzunehmen. Den stärksten Einfluß dürften die W a l d r o d u n g e n gehabt haben durch Überführung der qualitativ besten Waldböden in Ackerland. Das zeigt schlagend die S. 10 gegebene Übersicht über die Waldungen der Gemeinde Spiez. Den weitaus besten Waldboden (tiefgründiger Moränenboden in fast ebener Lage) weist der Rustwald auf; er allein hat eine ansehnliche Tannenvertretung: 28 % der Stammzahl und

50 % der kluppierten Holzmasse! Das Fortbestehen dieser Waldung in heutiger Zeit spricht eigentlich gegen die angenommene Rodungstendenz, gute Böden in Ackerböden überzuführen. Der Rustwald nimmt aber durch verschiedene Umstände eine Sonderstellung ein: Ausgedehnte Siedlungen und Rodungen sind ursprünglich wohl zuerst im breiten, flachen, warmen Ufergelände von Faulensee, Spiez, Einigen erfolgt. Der Rustwald ist von diesem Siedlungsgelände ordentlich weit entfernt, liegt zudem auf einer flachen Höhe und kam deshalb für Siedlungen nie ernstlich in Frage. Später dürfte er obrigkeitlicher Wald und bald herrschaftlicher Privatwald der Herren von Spiez geworden sein. Erst 1863 ging er durch Kauf an die Bäuertgemeinde Spiez über. Alle andern genannten Waldungen stehen wenigstens in wichtigen Teilen auf schlechtern Böden (Auboden, trockene Kalkflühe, feuchte Nordhänge) und weisen deshalb $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Fichten auf (z. T. auch Kiefern) gegenüber $\frac{1}{10}$ im Rustwald. Der Einfluß der Kulturmaßnahmen auf die Zusammensetzung der Wälder ist mannigfaltig und nicht immer eindeutig erfaßbar. Sicher ist jedenfalls, daß die unregelmäßige Holznutzung früherer Jahrhunderte und das viele Begehen der neuern Zeit, die Waldweide und Streuenutzung früherer Zeiten die Bonität des Waldbodens verringert und so die Fichte begünstigt haben. Sicher ist auch, daß den Waldnutzern Tannen- und Fichtenholz zu Bau- und Flößzwecken wertvoller waren als Buchenholz, während zu Heizzwecken das Buchenholz wohl stets wertvoller schien. Sichergestellt ist auch die Beobachtung, daß sich auf ehemaligen Kahlschlagflächen im Rustwald die Buche so üppig natürlich vermehrt, daß das darunter aufwachsende Nadelholz erstickt, wenn es nicht freigestellt wird. Die heutige Waldwirtschaft zielt für den Rustwald auf ein Holzartenverhältnis (der Masse) von 40 % Tanne, 30 % Fichte und 30 % Buche (während die heutigen Massenzahlen auf 50, 13, 30 % stehen). Die Wirksamkeit von Kulturmaßnahmen (gepaart mit unkontrollierten klimatischen Einflüssen) mag an der Veränderung der Massenprozente der Holzarten innerhalb von nur 20 Jahren nach den offiziellen Wirtschaftsplannmessungen dargestellt werden:

| Waldungen | Jahr | Buche | andere Laubhölzer | Tanne | Fichte | Kiefer Lärche |
|---------------|------|-------|----------------------|-------|--------|------------------|
| Rustwald | 1908 | 44 % | 0 % | 32 % | 20 % | 4 % |
| | 1929 | 30 | 1 | 50 | 13 | 6 |
| Auwald | 1908 | 45 | 5 | 5 | 37 | 8 |
| | 1929 | 32 | 6 | 9 | 47 | 6 |
| Faulenseewald | 1906 | 65 | 12 | + | 23 | — |
| | 1926 | 51 | 3 | + | 46 | — |

Vergegenwärtigt man sich das Bild dieser kurzfristigen Veränderungen im Pollenprofil, so wird man verstehen, daß ein Wald und besonders ein Mischwald unter Kultureinflüssen ein äußerst variabler Pollenlieferant ist. Wären die Veränderungen in obiger Zusammenstellung gleichsinnig, so könnte man an klimatische Ursachen denken, hier z. B. an einen klimabedingten Rückgang der Buche; gerade die Buche hat aber in benachbarten Gemeindefaulenseewaldungen zugenommen! Andererseits lehrt diese Tatsache, daß bei Waldungen unter Kultureinfluß nicht jedes Steigen und Sinken der Pollenkurve mit klimatischen Indizien übereinstimmen muß, auch daß man nicht aus allen Prozentänderungen auf klimatische Änderungen schließen darf.

So halte ich die Zunahme der Fichte seit der frühgeschichtlichen Zeit (und entsprechend den Rückgang der Tanne) in höhern Lagen hauptsächlich klimatisch, in tiefern Lagen hauptsächlich durch Waldrodungen und wirtschaftliche Einflüsse bedingt. Kleinere Kurvenschwankungen sind bald klimatisch (vgl. Einschwemmungskurve) und bald durch Kulturmaßnahmen ausgelöst worden oder stellen auch nur Zufälligkeiten der pollenanalytischen Untersuchung dar (einschließlich Zufälligkeiten der Pollensedimentation).

Auf die 4. Buchezeit folgt eine längere uneinheitliche 4. Buchenmischwaldzeit (4. BMW-Zeit). Ein erster Abschnitt von 470 bis 380 cm ist, abgesehen von einer kurzen und intensiven Einschwemmungsphase bei 450 cm, mehr oder weniger trocken-warm mit leicht dominierender Buche und ersten starken Fichtenvorstößen. Gleichzeitig erneuern sich die Erlen- und Hasel-

schwankungen früherer Zeiten und nehmen die Zeugen intensiver Getreidekultur in Form von Getreidepollen große Häufigkeit an. Gerade in diesem ersten trocken-warmen Abschnitt erscheint ein interessanter Kulturzeuge: Pollen von *Juglans regia* (seine Identifizierung wurde mir ermöglicht durch die Beschreibung in Firbas, 1931, und durch direkten Vergleich mit rezentem Pollen). Der Baum ist von da an in jeder Probe nachweisbar und erreicht oft außerordentlich hohe Prozente, so daß anzunehmen ist, daß er in unmittelbarer Nähe des Moores reichlich angepflanzt worden ist. Schon bald nach seinem ersten Auftreten steigt in einem ausgesprochen warmen Abschnitt mit viel Buche und wenig Fichte seine Pollenhäufigkeit auf 40 % des Waldbaumpollens. Die ersten Spuren des Walnußbaumes könnten bis zur trocken-warmen Stelle bei 470 cm zurückreichen. Über seine Einführung in unsern Gegenden wissen wir nichts.

Ein zweiter vorwiegend feucht-kühler Abschnitt der 4. BMW-Zeit schließt sich an von 380 bis 250 cm; dieser ist freilich bei 290—270 cm durch eine etwas trockenere Phase unterbrochen. In ihm dominiert fast stets die Fichte mit einigen Schwankungen. Gleichzeitig geht *Juglans* auf besonders geringe Beträge von 0 bis 15 % zurück. Auch sind die Spuren des Getreidebaus äußerst spärlich oder fehlend. Schon in der Mitte des vorigen Abschnitts ist die Eiche zur allein nachweisbar übriggebliebenen Komponente des EMW geworden, ob durch Übernutzung der Ulme (Drechslerholz) oder absichtliche Ausmerzungen im Walde (schlechtes Brennholz) oder nur durch relativ starke Begünstigung der Eiche (als Zaunbaum, für die Gerberei, als Fruchtbaum: Eichelmast) ist kaum zu entscheiden. Jedenfalls ist das Zurückgehen der Ulme auf fast Null bei 400 cm kaum klimatisch zu erklären. Möglicherweise haben auch vermehrte Rodungen, worauf die Haselgebüschphasen bei 410 und 380 cm hinweisen könnten, in dieser Richtung gewirkt.

Ein dritter, trockenerer Abschnitt mag bei 250 oder 240 cm beginnen und bei 190 oder 160 cm ausklingen. Er ist in seiner zentralen Partie durch starke Eichenvertretung gekennzeichnet. Die Eiche wird hier mit 40 % zum häufigsten «Waldbaum», eine Entwicklung, die fast sicher kulturbedingt ist. Gleichzeitig erreicht die Hasel eine gute Vertretung (Grenzhäge?). Vermehrte Kiefern Ausbreitung spricht auch für eine gewisse Trockenheit. In

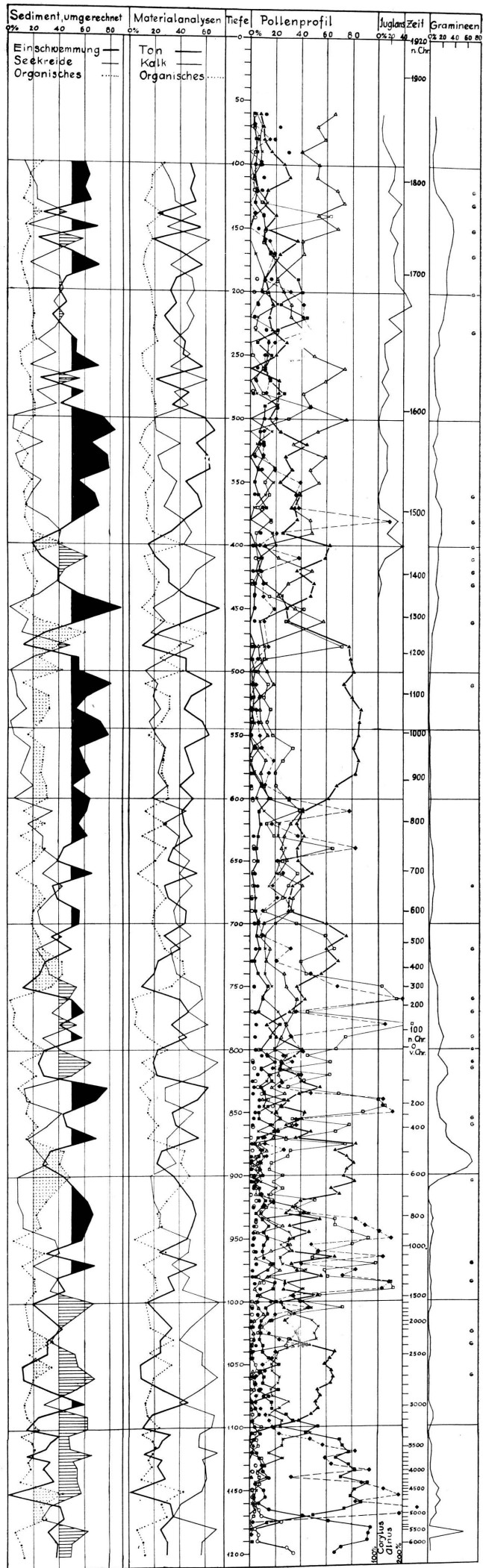


Abb. 11. Faulenseemoos. Pollendiagramm IX. Der Buchstabe G in der Spalte der Gramineen rechts, bedeutet das Vorkommen einzelner Getreidepollen.

diesem Abschnitt erreicht Juglans seine massigste Verbreitung (Maximum 52 % des «Waldbaumpollens»), wohl ein Indizium für günstiges Klima und starke Kulturförderung (Nußöl). Auch Getreidepollenkörner finden sich wieder häufiger. Im Walde behält die Fichte eine mäßige Dominanz, die aber von der Buche stark konkurrenziert wird.

In einem vierten und letzten Abschnitt der 4. BMW-Zeit scheinen Einschwemmungen wieder eine größere Rolle gespielt zu haben, wenigstens im Anfang. Die Fichte steigt zu Dominanzwerten von 40—70 % an. Die Buche bewegt sich zwischen 10 und 30 %, die Tanne zwischen 4 und 13 %. Die Eiche geht auf etwa 4 % zurück. Bis 90 cm ist Juglans noch stark kultiviert worden, dann geht sie zurück, eine Erscheinung, die der Entwicklung der letzten Jahrzehnte durchaus entspricht. Die Zunahme des Pinuspollens spricht für einen etwas trockeneren Endabschnitt. Dessen Pollendiagramm mag freilich durch die Entsumpfung und zeitweise Austrocknung der obersten paar Dezimeter infolge selektiver Zersetzung unzuverlässig geworden sein. Daraus erklärt sich wohl die Übervertretung der Fichte und Untervertretung der Buche gegenüber der aktuellen Waldzusammensetzung. Die relativ stärkere Pollenproduktion der Fichte gegenüber der Buche mag wie überall im Profil auch hier eine gewisse Rolle gespielt haben, kommt aber erst an diesem Punkt der Kontrollmöglichkeit zum Vorschein. Vermehrter Ferntransport von Picea-Pollen aus Berglagen als Folge zunehmender Entwaldung in der Tiefe dürfte wohl für den ganzen Abschnitt der 4. BMW-Zeit von einigem Einfluß sein, kann aber für diesen allerletzten Teil, wo die Rodungen sicherlich nicht mehr wesentlich ausgedehnt worden sind, nicht mehr zur Erklärung beigezogen werden.

Die 11—12 m langen nacheichenmischwaldzeitlichen Abschnitte der Faulenseemoosprofile IX und XI gehören zu den größten pollenanalytisch untersuchten Sedimentmächtigkeiten Mitteleuropas aus diesem Zeitabschnitt. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß sich die rezente Waldentwicklung hier so ausführlich und vollständig wie selten irgendwo verfolgen läßt.

Eine ähnlich mächtige Entwicklung (8—9 m) der rezenten Abschnitte hat L ü d i (1939) im Breitried im Sihltal festgestellt; ich bezweifle aber, daß dort die gleichmäßig gute Entwicklung wesentlich übers Jahr 1000 n. Chr. hinausgeht, um so mehr als L ü d i selbst eine große Abweichung zwischen dem Pollengehalt der Oberfläche und demjenigen der subrezentten Schichten findet.

Eine ebenfalls gute, wenn auch nur 4—5 m messende nacheichen-

mischwaldzeitliche Schichtreihe findet sich im Wauwilermoos (Härris, 1940). Hier dürfte vor allem das Profil von Punkt 5 (S. 40 der Arbeit Härris) bis in die Gegenwart reichen, wenn die obersten und nicht untersuchten 50 cm hinzugefügt werden, während die Profile Punkt 3 und besonders Punkt 4 subrezent zu wachsen aufgehört haben. Die tiefe Lage des Wauwilermooses und die ähnliche Holzartenmischung lassen hier einen Vergleich mit dem Faulenseemoos zu:

Faulenseemoos:

- 1. Buchenzeit
- Tannenzeit
- 1. BMW-Zeit
- 2. Buchenzeit
- 2. BMW-Zeit
- 3. Buchenzeit
- 3. BMW-Zeit
- 4. Buchenzeit
- 4. BMW-Zeit

Wauwilermoos Punkt 5:

- 490—450 cm Tiefe
- um 440 cm Tiefe
- ca. 420—330 cm Tiefe
- um 310 cm Tiefe
- ca. 290—260 cm Tiefe
- um 240 cm Tiefe
- ca. 230—200 cm Tiefe
- ca. 200—160 cm Tiefe
- oberste 160 cm

In voller Übereinstimmung mit Faulensee steigen im letzten Abschnitt Fichte, Kiefer und Eiche ungewöhnlich stark an. Die weitere Entfernung des Wauwilermooses von den Voralpen bedingt allerdings einen auffälligen Unterschied gegenüber Faulensee: die Fichte tritt die größte Zeit hindurch im Waldbild zurück, wogegen die Buche stärker dominiert. Der Vorlandslage und dem weitem Probeabstand ist es zuzuschreiben, daß das Diagramm von Wauwil einen weniger differenzierten Verlauf zeigt.

Der allerletzte Abschnitt des Pollendiagramms ist offenbar sehr schwer erhältlich im Zusammenhang mit dem übrigen Diagramm. Er fehlt den Sihltalprofilen und den Profilen vom Wauwilermoos; er fehlt fast überall. Auch im Faulenseemoos ist es nicht gelungen, ein zuverlässiges rezentes Profilstück zu erhalten. Das schnelle Wachstum der letzten paar Meter hat zwar zur Folge, daß noch relativ späte rezente Abschnitte im Grundwasser liegen und vor der Verwitterung geschützt sind; die letzten paar Dezimeter haben aber durch die Trockenlegung so stark gelitten, daß deren Pollengehalt nicht mit dem heutigen Waldbestand vergleichbar ist. So tritt vor allem die Buche fast ganz zurück, während sie doch rund 50 % aller Pollenkörner ausmachen sollte. Den Einfluß dieser selektiven Zerstörung des Laubholzpollens zeigt folgende Tabelle, die die verschiedene Pollenproduktion ganz außer acht läßt und voraussetzt, daß bloß ein Zehntel des Laubholzpollens erhalten bleibt:

| Von 100 angeflogenen Pollenkörnern | | | | | |
|------------------------------------|-----|------|------------------------------|------|-------------------------------|
| sind nach S. 10 wahrscheinlich | | | sind nach Verwitterung übrig | | resultiert als Pollenspektrum |
| Buche | 52 | Stk. | 5 | Stk. | 10 % |
| andere Laubbäume | 4½ | | ½ | | 1 |
| Tanne | 6½ | | 6½ | | 13 |
| Fichte | 29 | | 29 | | 59 |
| Kiefer | 8 | | 8 | | 16 |
| | 100 | Stk. | 49 | Stk. | 100 % |

Unter der Annahme einer so starken selektiven Zerstörung des Laubholzpollens resultiert ein Pollenspektrum, das von den wirklichen Ergebnissen in Profil XI höchstens noch darin abweicht, daß die tatsächlich gefundenen Abies-Werte die Erwartung deutlich übertreffen. Dieser Umstand spricht vielleicht für einen gewissen Ferntransporteinfluß, ebenso die oft sehr hohen Fichtenwerte.

Als Ergänzung zu Profil IX ist der oberste Abschnitt des später zu besprechenden Profils XI durchanalysiert worden (Abb. 12). Pollenanalytische und stratigraphische Befunde sprechen dafür, daß in den Profilen IX und XI gleichaltrige Ablagerungen in fast gleicher Tiefe liegen.

Viel zuverlässiger sind die in Abb. 8 wiedergegebenen Analysen vom Sewelisswald; auf die gute Übereinstimmung mit dem aktuellen Holzbestand wurde schon S. 24 hingewiesen. Leider ist der Anschluß ans lokale Pollendiagramm noch unsicher.

Schweizerische Profile mit relativ gutentwickelter Buchenzeitenreihe sind selten. Wohl eines der vollständigsten ist außer den genannten das Profil Ruth II aus dem Genfersee von L ü d i (1939a): Die erste Buchenzeit ist durch starke Tannendominanz unterdrückt, die zweite Buchenzeit dürfte sich bei 7 m, die dritte bei 4 m und die vierte bei 2 m finden; die Gipfel sind im allgemeinen durch starke Vertretung der Eiche und der eingerechneten Erle gedrückt; die ganze Sedimentreihe von Ruth II erreicht eher noch größere Mächtigkeit als in Faulensee.

Einen schönen Anfang der Buchenzeitenreihe hat schon früh F u r r e r (1927) aus dem Katzenssee bei Zürich publiziert; er umfaßt die 1. und 2. Buchenzeit; in jener trockenen 2. Buchenzeit hat das Moor seine Entwicklung eingestellt.

In allerletzter Zeit hat J o r a y (1942) aus dem Jura (Etang de la Gruyère) neuere Entwicklungsabschnitte publiziert, die aber wahrscheinlich nicht wesentlich über die Zeit unserer 2. Buchenzeit hinausreichen. Hierin liegt wohl der Grund, warum ein dem Grenzhorizont entsprechender Austrocknungshorizont nicht aufgefunden wurde: er liegt hart unter der nur stellenweise durch die künstliche Stauung wiederbelebten Mooroberfläche, die im übrigen aber durch Bewaldung und Verheidung Stillstand andeutet.

In Süddeutschland und den Vogesen sind ebenfalls einige Profile mit ausgedehnten rezenten Abschnitten aufgefunden worden. Schon P a u l und R u o f f (1927) fanden in den Chiemseemooren drei ausgeprägte Buchengipfel. Am Federsee fand K. B e r t s c h (1928a) ebenfalls drei Buchengipfel, die sich über die Zeit von der Bronzezeit bis ins Mittelalter verteilen sollen. Im Wasenried bei Sigmaringen hat K. B e r t s c h (1928b) eine stark variierte Buchenkurve nachgewiesen. B r o c h e (1929) hat aus dem Schwarzwald mehrere schöne Profile publiziert (z. B. Hirschenmoor und Moor von Zweiseenblick) mit ausgeprägten Buchenzeitenreihen. Eine sehr entwickelte Buchenzeitenreihe hat O b e r d o r f e r (1937) von Urbis im Süden der Vogesen untersucht; eine Parallelisierung mit unsern Ergebnissen ist aber vorläufig nicht möglich.

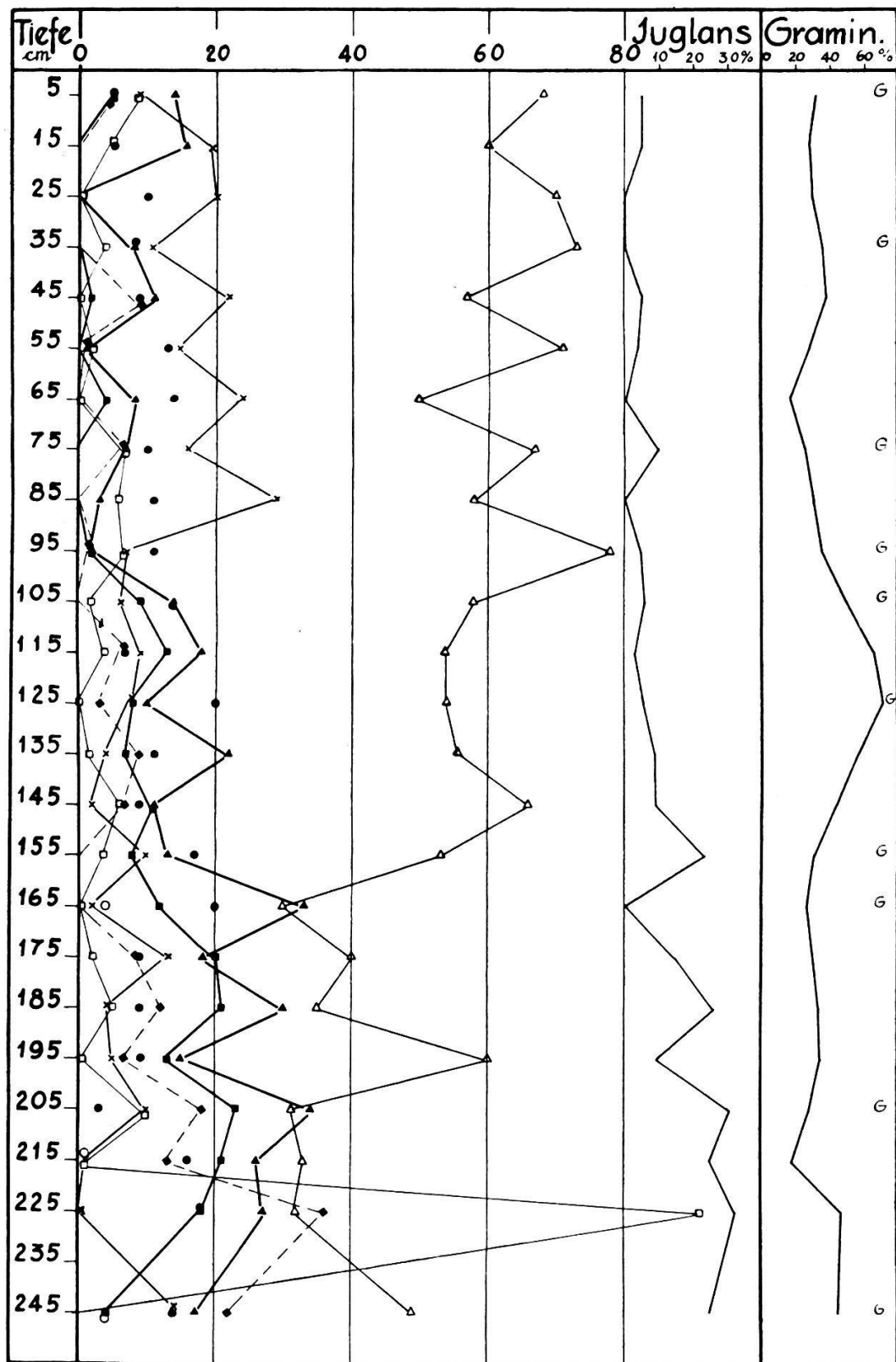


Abb. 12. Faulenseemoos. Der oberste, rezente Abschnitt von Pollendiagramm XI. Material: Ton-Gyttja mit Kalkgyttja. Fast alle Proben mit Flußsäure behandelt. Die obersten paar Dezimeter infolge Verwitterung unzuverlässig.

III. Das Spätglazial.

a) Einleitung und Profil VIII.

Die in Profil I des Faulenseemooses gemachte Beobachtung, daß sich unterhalb der birkenzeitlichen Horizonte noch einige Dezimeter typisch seekreidigen Materials finden, das pollenleer oder doch recht pollenarm ist, konnte ich in der Folge mehrfach wiederholen. Im Spiezmoos und am Amsoldingersee hatte ich in den Jahren 1935 und 1936 den Kontakt Seekreide—blauer Lehm im pollenarmen Gebiet unterhalb der Birkenzeit gefunden. Immerhin sei bemerkt, daß ich für diese untersten Schichten stets «graue Seekreide» notierte, die sich bei der mikroskopischen Untersuchung als stark tonhaltig erwies. Die Untersuchung dünner Präparate hatte Pinus, Betula und Salix ergeben und eine Pollenform, die ich als Hippophaë deutete. Eine Verifikation nach rezentem Material bestätigte meine Vermutung. (Für die Überlassung von Material aus dem Berner Herbar danke ich Herrn Prof. Rytz bestens.) Die Untersuchung der tonhaltigen Sedimente wurde erst dann in größerem Maßstabe durchführbar, als ich das Flußsäure-Verfahren nach A s s a r s o n und G r a n l u n d (1924) anwandte.

Leider mußte ich bei der Untersuchung eines ausgedehnten Materials erkennen, daß das, was ich als H i p p o p h a ë bezeichnete, aus zwei ähnlichen, jedoch deutlich zu unterscheidenden Pollenformen besteht. Die Formen hart unter der Birkenzeit erwiesen sich als typische Hippophaë: klein (20 bis etwas über 30 μ), rundlich, dreifurchig, dreiporig mit deutlich vorspringenden Poren, braun (vom Pol gesehen etwas Betula-ähnlich, wenn man von der Farbe und den Furchen absieht; von der Seite fallen die bei den Poren eckig vorspringenden Furchen auf; alles in voller Übereinstimmung mit E r d t m a n n, 1936). Die Formen in größeren Tiefen sind goldbraun, dreifurchig, weisen drei kleine, von innen etwas durchgedrückte, jedoch nicht vorspringende Poren auf (die gelegentlich etwas schwer erkennbar sind) und sind vor allem größer (ca. 28—40 μ in KOH und Glyzerin, meist 31 bis 36 μ) und haben ausgesprochene Spindelform (Breite: Länge = 0,6 bis 0,75). Die Furchen sind relativ breit und tief. Der Spindelform entsprechend liegen die Körner meist auf der Seite.

Dreht man sie in Pollage, so fallen die starken Furchen auf, die nicht ganz bis zur Spitze reichen, während die Seitenflächen meist nur wenig vorgewölbt sind, so daß das Ganze die Form eines Dreiecks mit gestutzten Ecken zeigt. Die Flächen zeigen äußerst feine Unebenheiten. Ich suchte in der Literatur, fand aber keine Hinweise, die zur Bestimmung führten. Ich durchging deshalb die Flora und suchte nach Arten, die einer spärlichen Vegetation von Bergkiefer, Birke (worunter Zwergbirke), Weiden entsprechen konnten und verglich alsdann mit rezentem Pollen. Dabei berücksichtigte ich vorwiegend Holzpflanzen in der Meinung, daß bei ihrer beschränkten Zahl ein wichtiger Pollenlieferant am ehesten aufzufinden sei. *Empetrum* und die Ericaceen schieden nach Angaben aus der Literatur von vornherein aus. Rosaceen scheinen nicht in Frage zu kommen (untersucht *Cotoneaster*, *Sorbus*, *Rubus*; ganz ausgeschlossen ist *Dryas octopetala*). *Berberis* paßt nicht, *Myricaria germanica* ebenfalls nicht; *Daphne* scheidet aus, *Lonicera nigra* ebenfalls. *Primula farinosa*, mehrere *Saxifraga*-Arten, *Thesium*, *Lythrum Salicaria* (das man mit der Buche verwechseln könnte) passen nicht, *Viola* auch nicht. *Acer* kommt kaum in Frage. Schließlich verfiel ich auf *Helianthemum alpestre* (Jacq.) D. C. und fand gute Übereinstimmung. Sehr ähnlich waren von vornherein in Kalilauge inhaltsleere Pollenkörner; durch konzentrierte Schwefelsäure fossilisierte rezente Körner decken sich in allen soeben genannten Eigenschaften so gut wie ganz (in KOH und Glyzerin gekocht). Innerhalb der Cistaceen wurden noch *Helianthemum nummularium* (L.) Miller und *Fumana ericoides* (Cavan.) Pau verglichen; beide sind größer und besonders die zweite grob punktiert.

Es handelt sich um den gleichen Pollen, den Härr i (1940) im Wauwilermoos in denselben spätglazialen Schichten fand und als cf. *Gentiana pneumonanthe* auf S. 27 seiner Arbeit beschreibt und abbildet. Im Geobotanischen Forschungsinstitut Rübel in Zürich ist meine Bestimmung durch Herrn Dr. Lüdi auf Grund eines umfangreichen Vergleichsmaterials verifiziert und als richtig befunden worden (soweit man bei solchen Bestimmungen heute Sicherheit erlangen kann).

Profil VIII.

Es war zunächst der im Abschnitt II, c geforderte Ausbau des Längsprofils, der mich veranlaßte, auch am östlichen Ende der Längsachse des Faulenseemooses zu bohren.

Die obersten 40 cm weisen krümelige, umgearbeitete Torferde auf. Darunter liegt gelbliche, infolge der Trockenlegung bis 130 cm etwas ausgetrocknete Seekreide. Von 180 cm an abwärts ist die helle Seekreide naß, ungefähr von 250 cm an ist sie dünnbreiig bis 320 cm. Von 320—387 cm ist sie plötzlich kompakt und grau; bei 365 cm finden sich darin kleine Mäuschelchen, Pisidien. Von 387 cm an liegt eine rund 80 cm dicke Schicht von feinem Seemergel über Moräne.

Das Pollenprofil VIII (Abb. 13) zeigt von unten nach oben einen Weiden-, Birken- und Kiefernabschnitt. Der Kiefernabschnitt ist nur etwa zur Hälfte vorhanden; seit dem Moment der Verlandung hat das Wachstum dieser Moorstelle aufgehört oder ist doch durch vielleicht periodische Abbauvorgänge zurückgehalten worden. Abgesehen von der Weidenzeit, die im Zusammenhang (Abschnitt III, d) besprochen werden soll, fällt die gute Entwicklung der Birkenzeit auf: Sie beginnt mit dem Ausklingen eines Hippophaë-Vorstoßes und ist typisch zweigipflig, indem ein früher Kiefernvorstoß ihre Werte etwas nach der Mitte absinken läßt. Ein kurzer Stillstand des Kiefernanstieges bei 260/250 cm dürfte sich bei engerer Probeentnahme als kleiner Rückschlag in der Entwicklung erweisen. Diese charakteristische Art der Entwicklung des Kiefernwaldes setzt sich auch nach dem Dominanzwechsel Birke-Kiefer fort: dem starken Kiefernvorstoß bei 240 cm folgt ein recht massiver Birkengegenstoß bei 230/220 cm. In kleinerem Ausmaß wiederholt sich das Spiel bei 210 resp. 200/190 cm. Mit dem Ende des ersten Birkengipfels stellt sich eine schwankungsreiche Übergangszeit zur endgültigen Kiefernvorherrschaft ein, die noch etwas länger ist als die ganze Birkenzeit.

Die dargestellten Pollenrelativkurven zeigen den wichtigen Faktor der absoluten Pollenhäufigkeit nicht, und doch wäre seine Angabe zur Beurteilung von Vegetation und Klima wertvoll. Es gibt allerdings auch keine Methode, zuverlässige Messungen darüber auszuführen. Selbst wenn die schwerwiegendste Unbekannte, die Jahresschichtendicke, bekannt wäre, blieben die Zufälligkeiten der Baumverteilung und des Blürrhythmus, des Sedimentwachstums (mit evtl. Pollenzerstörung), der Pollensedimentation im Wasser (Strömungen, Wassertiefe) und der Windandrifft nicht erfaßbar. Trotz den vielen Unbekannten, zu denen noch diejenigen der Präparatherstellung kommen, halte ich diejenige Sedimentprobe für wahrscheinlich pollenreicher, die im gleichen Sediment bei möglichst gleicher Behandlung wesent-

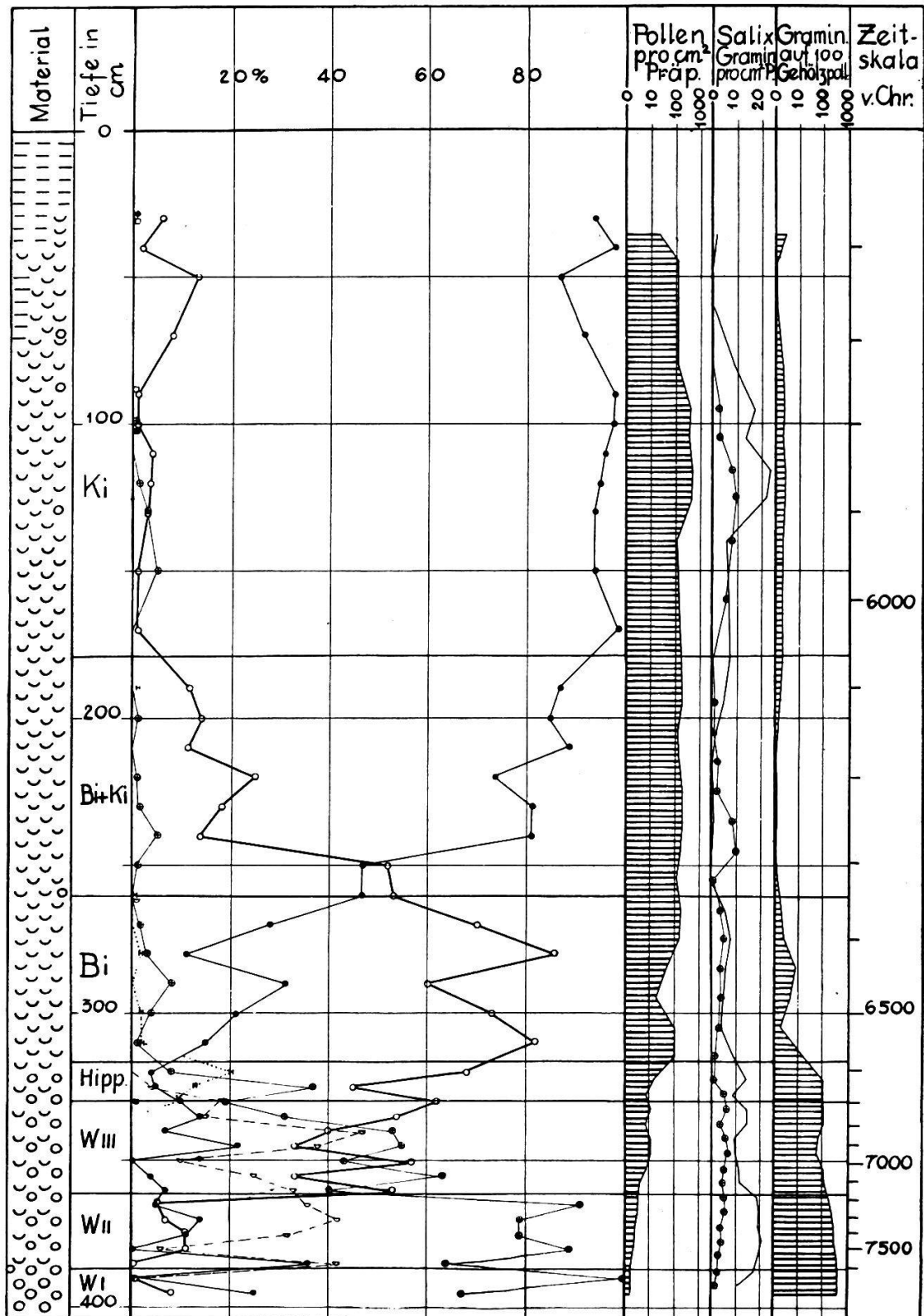


Abb. 13. Faulenseemoos. Pollendiagramm VIII.

Ki. = Kiefernzeit i. e. S.; Bi. + Ki. = Birkenkiefernzeit; Bi. = Birkenzeit; Hipp. = Hippophaë-Abschnitt; WI—III = 1. bis 3. Weidenzeitabschnitt.

lich mehr Pollen auf der gleichen Präparatfläche zeigt. Das Ergebnis wird aber bis zur Gewißheit gesichert, wenn eine gewisse Parallelität zu den Pollenkurven hervortritt, die Unterschiede sich dauernd über mehrere Proben erstrecken und die Unterschiede selbst das Vielfache der kleinern Pollenmenge betragen. In diesem Sinne gebe ich die Pollenzahl pro Quadratcentimeter Präparatfläche (bei der Deckglasgröße von 18 mm und der Vergrößerung 225 ungefähr 10 durchfahrene Präparatzeilen) als Kurve wieder (vgl. auch S. 181).

Die Pollenhäufigkeit beträgt in der frühen Weidenzeit meist weniger als 10 Pollen/cm², in der späten Weidenzeit 10—20 Stück; sie steigt im Hippophaë-Gipfel auf 50 P./cm², im Hauptteil der Birkenzeit auf 100 bis 200 P./cm², in der Kiefernzeit auf 200 bis 500 P./cm². Der letzte Anstieg mag mit der stärkern Pollenproduktion der Kiefer und ihrer größern Bestandesdichte zusammenhängen. Der Anstieg von der Weidenzeit zum Hippophaë- und Birkenabschnitt muß aber klimatische Ursachen haben, da die Birke stets, besonders aber im spätern Weidenzeitabschnitt eine gute Vertretung aufwies. Ebenso spricht die äußerst geringe Pollenhäufigkeit am Grunde des Profils (trotz Weglösen des Tons!) für vegetationsfeindliche Bedingungen.

Was die absolute Häufigkeit der Weide betrifft, beobachtete Oberdorfer (1937, S. 527) beim Übergang von der Weiden- zur Birkenzeit in Urbis in den südlichen Vogesen noch eine Zunahme, trotz dem Rückgang der relativen Frequenz. In Profil VIII des Faulenseemooses ist diese Erscheinung nicht stark ausgeprägt, es sei denn, man vergleiche nur das der Birkenzeit unmittelbar vorangehende Gebiet der Weidenzeit. Die frühe Weidenzeit zeigt trotz großer relativer Häufigkeit kleine absolute Vertretung. Die spätere Weidenzeit weist Werte von 20—25 *Salix* pro Quadratcentimeter auf. Nach einem Tiefstand bei etwa 8 *Salix*/cm² erreicht die Weide wieder Werte von 15—25 Stück/cm² in der Birkenzeit, verliert aber zur Zeit der Kiefernvorstöße (mit einer Ausnahme) an absoluter Häufigkeit. Die weitere Entwicklung ist etwas abrupt und unklar. Der Anstieg in der frühen Weidenzeit ist wohl als Ausdruck der allgemeinen Besserung der Vegetationsbedingungen aufzufassen, der Rückgang in der späten Weidenzeit als wirklicher Rückgang arktisch-alpiner Weidenarten; denn um bloße Verdrängung durch den vorrückenden Wald

kann es sich kaum handeln, da der Rückgang schon bei kleinen Gehölzpollenfrequenzen (bei 340 cm, vor Beginn der Hippophaë-Ausbreitung) einsetzt und eine starke Wiederausbreitung im Gebiet der Birke und der Kiefernvorstöße erfolgt.

Von den Nichtgehölzpollen ist in diesem Profil nur der *Gramineenpollen* notiert worden. Bezieht man ihn auf gleiche durchgesehene Präparatflächen, so erkennt man, daß sein Schwerpunkt in diametralem Gegensatz zum Gehölzpollen in der Weidenzeit liegt. Nach steilem Anstieg werden die höchsten Werte mit etwa 30 Gramineen/cm² im ältern Weidenzeitabschnitt erreicht; der jüngere Abschnitt weist 15—25 Stück/cm² auf. In der Birkenzeit findet man nur 5—15 Stück/cm². Im Gebiet der Kiefernvorstöße weisen diese selbst meist sehr wenig, die dazwischenliegenden Birkengegenstöße beträchtlich mehr Graspollen auf. Eine ansehnliche Steigerung des Graspollens auf 25 Stück/cm² findet sich dann noch einmal gegen die Mitte der Kiefernzeit (bei 90 cm).

Firbas (1934) hat im Verhältnis des Gramineenpollens zum Waldbaumpollen einen brauchbaren Index für die Walddichte erkannt. Er sei auch hier berechnet, obwohl gerade der interessanteste Teil, die Weidenzeit, für die Berechnung problematisch ist.

In einem wirklich baumlosen Gebiet wird der Index den Wert unendlich annehmen oder aber einen beliebig kleinern Wert, je nach der Stärke des Pollenferntransports. Ferner kann man sich darüber streiten, welche Gehölzpollen man als Bezugsgröße zulassen will. Eigentlich wäre nur Baumpollen zuzulassen; aber: Ist bei einer vielleicht mehr oder weniger sicher festgestellten *Pinus montana* die Baumform oder die Legföhre vorhanden gewesen? Soll man die baumförmigen *Betula*-Arten von *Betula nana* abtrennen und kann man das pollendiagnostisch in jedem Fall? Sind die Weiden Bäume, Sträucher oder auch nur Spaliersträucher gewesen. Ist *Hippophaë* bei dieser Einbeziehung von strauchigen Pflanzen nicht auch einzuschließen? Es wäre wohl kein Schaden, sogar *Helianthemum alpestre* einzubeziehen, einerseits weil es auch verholzt, anderseits weil es mindestens so groß ist wie die Spalierweiden, drittens weil es ein Leitfossil der ganzen Weidenzeit ist, viertens weil es eine so zuverlässige Bezugsgröße ist wie die sicher z. T. ferntransportierten (oder — *horribile dictu* — durch den Bohrer nach unten verschleppten) Pinus- und Betula-Pollen. Der so gebildete Index ist nicht immer besser, doch wohl auch selten schlechter als die schwer herzustellende Bezugnahme auf Waldbäume allein. Darin liegt der Grund, warum ich alle vier Gehölzarten (-gruppen) zur relativen Pollensumme 100 % vereinige: Pinus, Betula, Salix, Hippophaë: ihre Gesamtheit charakterisiert die Weidenzeit.

Die Gramineen erreichen in der Weidenzeit mehrere Hundert Prozent des Gehölzpollens; die Werte sinken in der spätern Weidenzeit auf 50—150 %, gipfeln nach dem letzten *Helianthemum*-

Hochstand und zur Zeit des letzten Salix-Hochstandes kurz vor dem Hippophaë-Gipfel noch einmal auf, durchlaufen den Hippophaë-Gipfel mit 42 ‰, um dann auf minime Werte von meist nicht über 2 ‰ abzusinken (Ausnahme: Birkeneinsattelung bei 290 cm, 12 ‰; bei 280 cm 5 ‰; Birkenvorstoß bei 230 cm 5 ‰). Diese Verhältnisse sprechen für eine ä u ß e r s t o f f e n e L a n d s c h a f t i n d e r W e i d e n z e i t, um so mehr als ein guter Teil der Bezugsgrößen im Landschaftsbild ebenfalls nicht hervortreten. Die trotzdem schwache absolute Vertretung des Graspollens spricht aber sogar für eine relativ o f f e n e V e g e t a t i o n.

b) Profil X.

Das geköpfte kiefernzeitliche Profil VIII, sowie die interessantesten Verhältnisse der Birken- und Weidenzeit ließen die detaillierte Untersuchung eines weiteren Spätglazialprofils als wünschbar erscheinen. Ich hatte es bereits in der Hand, gestützt auf das Längsprofil des Moores, diejenige Stelle auszuwählen, die ein kiefernzeitlich vollständiges Profil erwarten ließ.

Die obersten 70 cm des Profils X (Abb. 14) bestehen aus trockener Torferde mit einzelnen unregelmäßigen Seekreidespuren; man hat den Eindruck, daß dieser Teil durchwühlt ist. Darunter liegt weiße Seekreide, die von 130 cm an naß und von ca. 200 cm an breiig, doch zusammenhaltend ist und bis ca. 450 cm reicht. Von 450 bis 503 cm findet sich festere, graue Seekreide, die mehrfach Schnecken und Pisidien aufweist. Unterhalb 503 cm liegt Seemergel (blauer Lehm) mit vereinzelt eckigen Steinchen; der Seemergel ist ziemlich weich, wässerig. Bei 600 cm stieß der Bohrer auf festen Steinwiderstand, wohl Moräne. Die Proben wurden in 5-cm-Abständen entnommen und untersucht.

Die drei spätglazialen Abschnitte (s. Abb. 14) der Weiden-, Birken- und Kiefernzeit sind alle schön entwickelt. Immerhin sind sie durch nach oben zunehmende Wachstumsgeschwindigkeit auffällig verzerrt. Die Birkenzeit beginnt auch hier mit einem Hippophaë-Gipfel bei 440 cm. Vor dem ersten Kiefernvorstoß ist eine breite Lücke mit einem flachen Salix-Gipfel. Der zweite Birkenabschnitt ist ebenfalls sehr gut entwickelt. Der zweite Kiefernvorstoß wird bei 375/370 cm gleichfalls gebremst wie in Profil VIII; die Prozentzahlen der Kiefer liegen freilich etwas höher. Sehr schön entwickelt sind die zwei folgenden Kiefernvorstöße und die entsprechenden Birkengegenstöße; bei 352 cm hätten sich bei noch engerer Probeentnahme Kiefer und Birke wohl fast be-

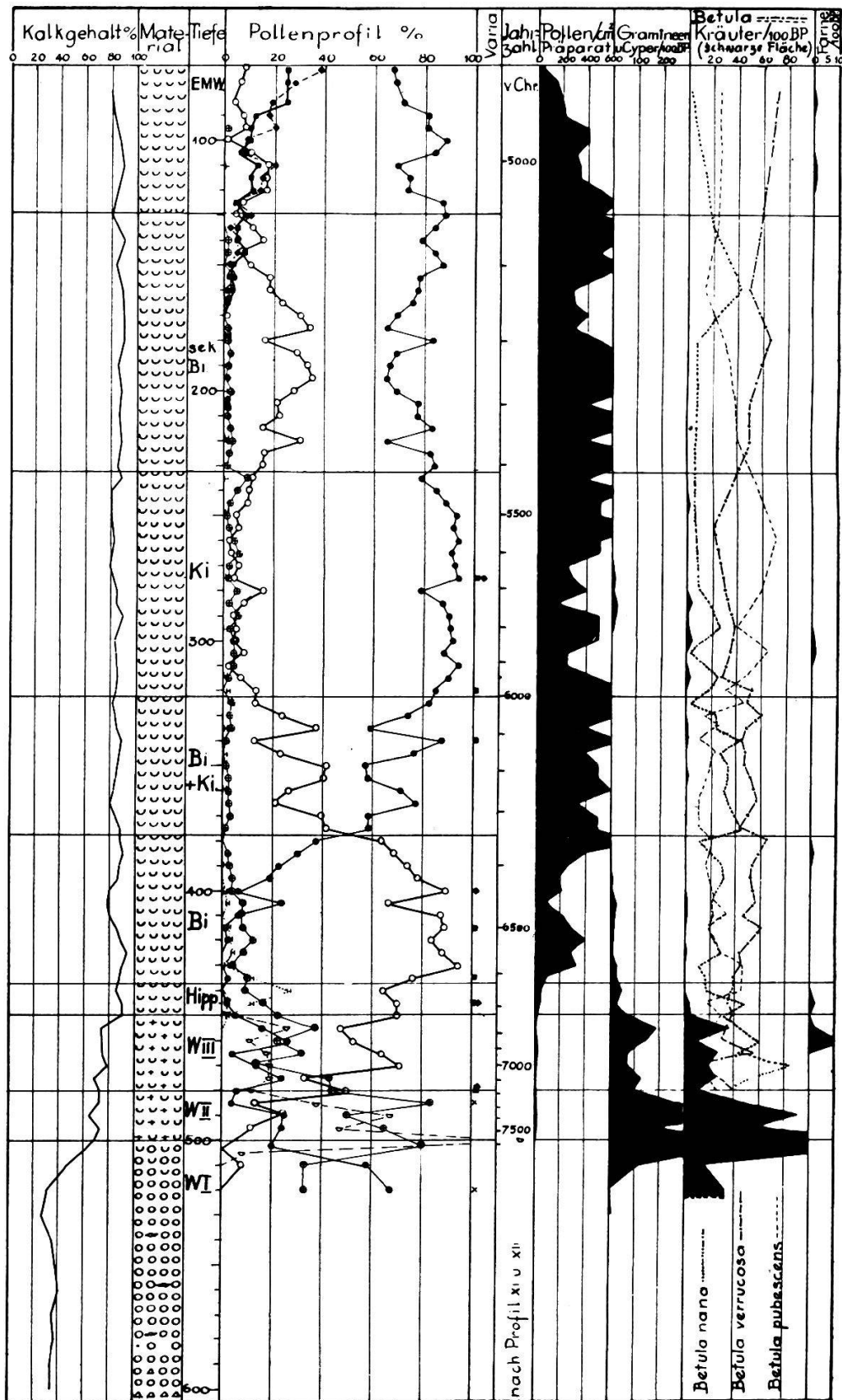


Abb. 14. Faulenseemoos. Pollen- und Kalkgehaltsdiagramm X.

rührt. Bei 280 cm findet sich ein kleiner Birkenvorstoß, der sich im Profil VIII bei 50 cm wiederfinden dürfte. Es scheint mehr als Zufall zu sein, daß in Profil VIII bei 90 cm ein *Alnus*-Pollenkorn, bei 30 cm ein *Alnus*- und *Corylus*-Korn und an der entsprechenden Stelle in Profil X ein *Quercus*- und ein *Corylus*-Korn gefunden wurden. Im Abschnitt von 315 bis 230 cm, d. h. im Abschnitt mit sehr hohen *Pinus*-Prozenten weist die Weide die ansehnliche Vertretung von 2—9 % auf, etwa wie in der Birkenzeit, während im Zwischengebiet der Kiefernvorstöße diese 0—3 % beträgt. Im Gebiet von 230—155 cm zeigt der in der Literatur bekannte sekundäre Birkenanstieg mehrfach Werte zwischen 20 und 35 %; in ihm finden sich die ersten Spuren von wärmeliebenden Gehölzen: *Corylus* mehrfach, ab 160 cm stets, *Tilia cordata* bei 205 cm, *Alnus* bei 170 cm, *Ulmus* ab 165 cm stets, *Tilia cordata* ab 160 cm in fast jeder Probe, *Tilia platyphyllos* bei 140 cm und ab 100 cm häufig (Bestimmung von *Tilia* nach Trela, 1928). Bei 165 cm setzen die zusammenhängenden Kurven von Eichenmischwald und Hasel ein, bleiben aber noch merkwürdig lange im Bereich von bloß 5—15 %. Dieses erklärt sich zwar zwanglos durch das schnelle Wachstum im untiefen Wasser, wie es später für die neuere Zeit nachgewiesen wird. Die ersten Eichenpollen finden sich in 110 und 100 cm Tiefe; vermutlich setzt die zusammenhängende Eichenkurve aber erst bei 77 cm ein. Bei Vergleich mit Profil VII und IX erhält man den Eindruck, daß hier die Kieferndominanz reichlich lange dauert und doch wohl nach 110 cm absinken dürfte. Sie wird vielleicht (Übergang Seekreide—Torf!) hochgehalten durch lokal starke Anschwemmung und Windandrifft. Sobald die letzten Seekreidespuren verschwinden, steigen die Prozente der wärmeliebenden Gehölze an.

Die Pollenhäufigkeit nimmt einen ähnlichen Verlauf wie in Profil VIII. Der Seemergel enthält 0—2 Pollen/cm², der frühe Weidenzeitabschnitt meist 5—15 Pollen/cm², der spätere Weidenzeitabschnitt 15 bis über 40 Pollen/cm², der Hippophaë-Abschnitt 37 Pollen/cm² (nach einem weidenzeitlichen Tiefstand bei 17 Stück). Der Hauptteil der Birkenzeit weist 150—350 Pollen pro Quadratzentimeter auf, die Kiefernzeit in großen Teilen 350—700 Stück. Die Zeit der Kiefernvorstöße ist (ähnlich Profil VIII) besonders pollenreich, während der Abschnitt mit 90 % Kieferndominanz (315 cm bis 260 resp. 230 cm) offensichtlich

weniger Pollen aufweist. Der sekundäre Birkenanstieg zeigt deutlich höhere Pollenhäufigkeit, der Abstieg ist wieder pollenärmer. Die Pollenhäufigkeit der obersten Schichten hat wohl durch Austrocknung etwas gelitten, wird aber auch durch besonders rasches Wachstum und Zunahme der organischen Bestandteile vermindert worden sein.

Beim detaillierten Vergleich der Kurven der Pollenhäufigkeit in den Profilen VIII und X sind wir von der großen Übereinstimmung überrascht. Wir erkennen, daß selbst die Zufälligkeiten der Präparatherstellung die großen Züge des Verlaufs nicht stören. Um so zuverlässiger und um so eher verwertbar sind diese Maßzahlen für die absolute Pollenhäufigkeit. Es sei allerdings nochmals betont, daß die Übereinstimmung zweier Profile zwar einige lokale Pollenerzeugungs- und Sedimentationsunbekannte eliminiert, jedoch die Unbekannte des Jahreszuwachses in voller Wirksamkeit beläßt.

Die absolute H ä u f i g k e i t d e r W e i d e zeigt in Profil X insofern einen unerklärlichen Unterschied gegenüber Profil VIII, als sie in der Weidenzeit 10 Stück/cm² nicht überschreitet (bis 30 Stück/cm² in Profil VIII). Die Weidenarmut ist auch beim Vergleich der relativen (Prozent-) Kurven erkennbar. Die besonders weidenarme Übergangszeit vor der Birkenzeit ist aber trotzdem deutlich. Merkwürdig ausgeprägt ist dann die von O b e r d o r f e r (s. S. 48) erwähnte Zunahme der absoluten Weidenfrequenz in der ersten Hälfte der Birkenzeit, wohl eine Folge der Zuwanderung und Ausbreitung größerer Weidenarten unter günstigen klimatischen Bedingungen. Wie ein Rückschlag, wohl eher ein Umschlag im Klima mutet das plötzliche Absinken zur Zeit des ersten Kiefernvorstoßes an. Die Zeit der Kiefernausbreitung ist im Gegensatz zur absoluten Gesamtpollenkurve besonders weidenarm. Die eigentliche Kiefernzeit mit ca. 90 % Kiefer weist etwas mehr, doch immer noch recht wenig Weide auf (7—14 Stück/cm²); erst am Schluß dieser fast ausschließlichen Kiefernhegemonie, im allerersten Anfang des sekundären Birkenanstieges steigt die Weide wieder zu Werten der absoluten Häufigkeit von 20—30 Stück/cm² an. Es scheint mir bemerkenswert, daß sie ihre Aufstiegsbewegung bei 265 und 245 cm bei ansteigender Gesamtpollenhäufigkeit, ihren Wiederabstieg bei weiter steigender Gesamtpollenhäufigkeit ausführt. Im sekundären Birkenanstieg und

in der beginnenden Wärmezeit wird die Weide schließlich bedeutungslos. Die Weide (mit ihren verschiedenen Arten) erweist sich somit als recht eigentliche Charakterpflanze des Spätglazials in seiner ganzen Ausdehnung.

Wie in Profil VIII scheint auch hier der Schwerpunkt der absoluten Gramineenhäufigkeit in der Weidenzeit zu liegen, und zwar besonders im ersten Abschnitt. Der Hippophaë-Abschnitt weist hier wie im Profil VIII ziemlich hohe Gramineenhäufigkeit auf, die sich auch während des Hauptteils der Birkenzeit erhält. Weiter oben sind die Gramineen leider meist nicht ausgezählt worden.

Das Verhältnis der Gramineen zu den Gehölzpollen steigt hier in der frühesten Weidenzeit vom Wert Null (im reinen Seemergel) auf 200—560 ‰. Dieser Umstand deutet, zusammen mit der fast auf Null abgesunkenen Gehölzpollenhäufigkeit, auf Bedingungen, wie sie nur bei Neubesiedlung durch die Vegetation möglich sind. Daß trotzdem Spuren von Gehölzpollen vorhanden sind, spricht vielleicht am ehesten für Ferntransport. Im letzten Teil der Weidenzeit, kurz vor dem Hippophaë-Abschnitt, steigt die relative Gramineenhäufigkeit noch einmal auf 190 ‰ an, um dann rasch auf relativ kleine Werte (unter 50 resp. meist unter 10 ‰) abzusinken. Dieser Kurvenverlauf kennzeichnet die eintretende und zunehmende Bewaldung vom Beginn des Hippophaë-Abschnittes an.

An den Sedimenten des Profils X wurden in gleicher Weise wie in Profil IX Kalkgehaltsbestimmungen für die Mehrzahl der Proben durchgeführt, um meine Angaben über die makroskopischen Materialbezeichnungen zu präzisieren und allfällige Schwankungen von Seekreidebildung und Toneinschwemmung festzustellen. Von einer Bestimmung des organischen Materials wurde abgesehen, da dieses keinen wesentlichen Anteil am Ganzen haben dürfte; vollständige Bestimmungen sind in Profil XI wiedergegeben.

Die Kalkkurve in Profil X (Abb. 14) bestätigt in ausgezeichneter Weise meine Beobachtung, daß die Seekreide weit unter die Birkenzeit, bis an den Anfang der Weidenzeit hinunterreicht. Es handelt sich um 50 bis 60 cm Seekreide, die freilich noch 20—25 ‰ Toneinschwemmung zeigt (ca. 5 ‰ Organisches und Wasser bei Lufttrockenheit

abgerechnet) und deshalb spezifisch schwerer und etwas kompakt und deutlich grau ist. Wohl wird der Ton nicht als solcher, sondern zusammen mit $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{5}$ Kalk als Mergel eingeschwemmt worden sein; aber auch unter Berücksichtigung dieser Tatsache beträgt die Einschwemmung nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ des Sediments, so daß die enorm geringe Pollenhäufigkeit dieses Abschnittes nicht etwa durch übermäßige Verteilung des Pollens durch Einschwemmungsstoffe erklärt werden kann. (Zudem wird durch Flußsäure der Kalk ganz, der Ton zu einem guten Teil weggelöst.) Sehr beachtlich ist, daß das Aufhören der Mergelinschwemmungen und das daherige Ansteigen des Kalkprozents auf 90 % am Beginn der Hippophaë-Phase und nicht am Beginn der Birkenzeit liegt, während der Anstieg der Gehölzpollenfrequenz erst am Beginn der Birkenzeit liegt; die ziemlich hohe Häufigkeit der Gramineen der Hippophaë-Phase charakterisiert diesen Abschnitt, ebenso das gehäufte Auftreten von Farnsporen an seinem Anfang. (Die Bestimmung an Hand der Tabellen von K r a p o w i c z, 1927, ergab *Cystopteris fragilis*, *Cystopteris spec.* und *Dryopteris Lonchitis*.)

So gering auch die weitem Schwankungen der Kalkkurve sind, so darf man den ganz großen Parallelismus zwischen Kalk- und Birkenkurve nicht übersehen; ich verweise auf folgende Abschnitte: 510 cm, 480, 470, 450, 440—405 cm, 405 bis 365 cm, 290—270 cm, 240—150 cm, 150—130 cm, 130—85 cm. Zugegeben, es sind einige Ausnahmen oder doch scheinbare Ausnahmen vorhanden, so bei 365—325 cm (die zwei *Betula*-Gipfel eine zeitlich relativ einheitliche Gruppe) und bei 180 cm. Was bedeutet nun aber dieser Parallelismus? Doch wohl nur entsprechend gleiche Reaktion auf klimatische Änderungen. Es sind nun zwei Fälle denkbar: die klimatische Änderung bewirkt vermehrte Seekreidebildung, oder aber sie bewirkt verminderte Einschwemmung (evtl. auch beides). Welcher dieser Fälle wirklich eingetreten ist, läßt sich den beiden Kurven nicht entnehmen. Ich möchte nur folgendes zu bedenken geben: Gemäß den S. 38/39 gemachten Überlegungen handelt es sich bei derartigen Kurvenschwankungen stets vorwiegend um Schwankungen der Einschwemmung. Vermehrte Einschwemmung selbst hemmt nach den Erfahrungen der Limnologen die Wasservegetation und damit die Seekreide-

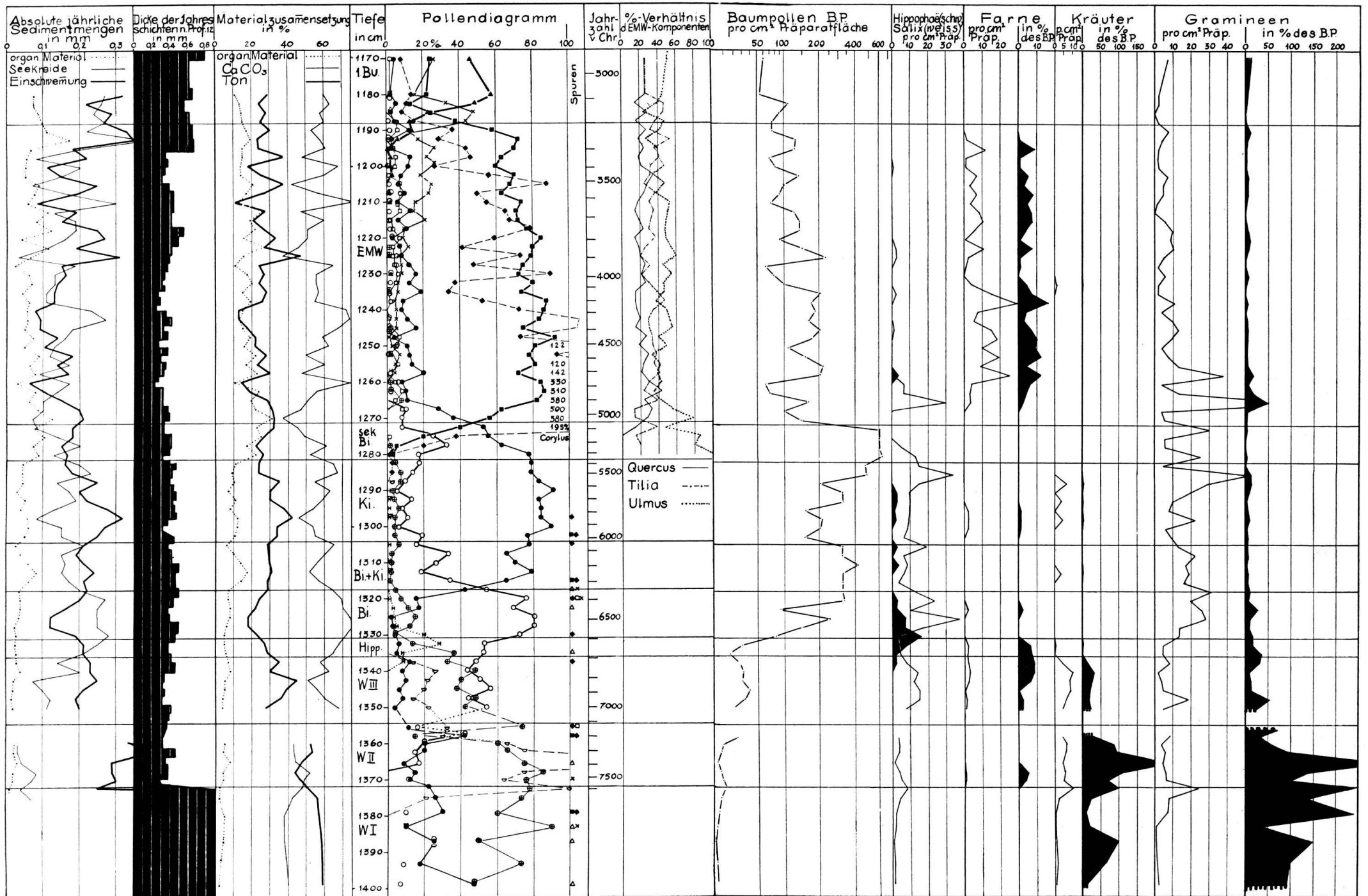


Abb. 15. Faulenseemoos. Pollen- und Sedimentdiagramm XI.

bildung einerseits durch die Zufuhr von Geschiebe und Detritus selbst, anderseits durch starke Strömungen und abrupte Wasserwechsel (H u b e r - P e s t a l o z z i, 1926, S. 856). Außerdem spricht das später für die Birkenzeit nachzuweisende Vorkommen von *Betula verrucosa* nicht für ausgesprochene Nässe, das für die mittlere Kiefernzeit nachzuweisende Vorkommen von *Pinus montana* nicht für Wärme und Trockenheit. Daraus ziehen wir den Schluß, daß die Birkenzeit etwas trockener und wohl wärmer, die mittlere Kiefernzeit nasser und kühler gewesen ist.

Es ist bezeichnend, daß die Abschnitte mit nassem Klimacharakter folgende sind: Weidenzeit, erster Kiefernvorstoß, Hauptkiefernvorstoß und die Abschnitte mit 85—94 % Kiefer. (Die tiefe Lage der Kalkkurve in der Eichenmischwald-Haselzeit rührt z. T. von organischem Detritus her.) Die Ähnlichkeit des ersten und letzten Abschnittes wird noch unterstrichen durch ein gemeinsames, unbekanntes Fossil: braune, vielporige Gitterkugeln von 15—30 μ Durchmesser. Nach Z a n d e r (1935) kann es sich am ehesten um Plantaginaceen, Chenopodiaceen, Caryophyllaceen handeln. Diese treten in der Weidenzeit vom ersten Anfang an in fast jeder Probe und oft mehrfach auf und sind nach meinen Erfahrungen auch in andern Mooren zur Weidenzeit anzutreffen, jedoch fast ganz auf sie beschränkt. Sie sind oft von Kompositen verschiedener Artzugehörigkeit begleitet. Interessanterweise tritt diese Gruppe von Unbekannten noch einmal im Abschnitt 315 bis 285 cm auf.

c) Profil XI.

Aus drei Gründen wurde im Jahr 1940 nochmals ein langes Profil erbohrt. Erstens sollte durch Bohren in einem Punkt, der der Moormitte noch etwas näher lag als Profil IX der rezente Abschnitt noch einmal untersucht werden (s. S. 51 und Abb. 12). Zweitens sollte die Schichtung nochmals genauer geprüft und ausgemessen werden (S. 109 ff). Drittens interessierte mich die Entwicklung, Ausgestaltung und Mächtigkeit der spätglazialen Schichten in der relativ großen Tiefe des ehemaligen Faulenseeleins.

Aus dem Bohrprotokoll seien an dieser Stelle folgende Beobachtungen wiedergegeben:

1250—1281,5 cm braune Tongyttja, davon 1260/61 und 1264,5/65 seekreidig; der ganze Abschnitt mit Schnecken und Pisidien.

1281,5—1300 cm tonige Seekreide; man erkennt Tonstreifchen und allerfeinste Rippung.

1300—1333 cm grauweiße tonige Seekreide.

1333—1358 cm grau-rötliche Seekreide.

1358—1362 cm Seekreide und ziemlich viel Ton.

1362—1370 cm graue Seekreide, davon

1363—65,5 sehr moosreich,

1366,5—68 stärker tonig.

1370—1372 oder 1373 cm Übergänge zu blauem Lehm.

1371 cm Pisidien! Regelmäßige dunklere Streifchen im Lehm.

1373—1381 cm und besonders ab 1385 cm bis 1400 cm äußerst feiner, ankiger Lehm; bei 1379 cm findet sich ein eckiges Steinchen und bei 1381—85 cm feinsten Sand.

Die Proben wurden in 2,5 cm Abstand entnommen und untersucht, von 1350 cm an alle Zentimeter (hier jedoch nicht vollständig untersucht). Leider unterließ ich es, noch tiefer zu bohren; doch dürfte einerseits bei Vergleich mit Profil X nur wenig fehlen (40—50 cm Seemergel), andererseits der fehlende Abschnitt nichts wesentlich Neues zeigen.

Die spätglazialen Abschnitte der Weiden-, Birken- und Kiefernzeit sind in Profil XI vollständig erfaßt (Abb. 15). Die ganze Entwicklung ist aber auf eine viel geringere Schichtdicke zusammengedrängt als in Profil VIII oder X.

| Profil | Weidenzeit | | Birkenzeit | Kiefernzeit |
|---------|------------|-------|------------|-------------|
| | A * | B * | | |
| VIII | 33 cm | 42 cm | 55 cm | ca. 260 cm |
| X | 37 | 43 | 60 | ca. 220 cm |
| XI | 27 | 22 | 14 | 40 |
| XII | 25 | 18 | 13 | 46 |
| XI in % | 77 % | 54 % | 23 % | 17 % |

* A = unterer Abschnitt, vom 1. Hauptanstieg der Helianthemum-Kurve bis zu deren Schnittpunkt mit der Betula-Kurve.

* B = oberer Abschnitt, vom Schnittpunkt Helianthemum/Betula bis zum Hippophaë-Gipfel.

Unterste Zeile: Länge der Abschnitte des Profils XI in Prozenten des Mittels der entsprechenden Abschnitte in Profil VIII und X.

Die Tabelle zeigt in die Augen springend den Übergang von einer minerogenen zu einer organogenen Sedimentationsphase. In der ersten Zeit nach dem Gletscherrückzug bildeten mineralische Sedimente die einzigen Einlagerungen ins alte Seebecken des Faulenseeleins; sie dürften, abgesehen vom engern Bachdelta, in der Mitte am mächtigsten gewesen sein (große und ruhende Wassermasse). Schon in der Weidenzeit ändert sich das Zahlenverhältnis in dem Sinne, daß die Mitte weniger Sedimenthöhe aufweist als ufernahe Teile. Das

erklärt sich fast restlos aus der Seekreidebildung, die in Ufernähe innerhalb des Gürtels höherer Pflanzen besonders stark ist, wo auch eine Wiederauflösung des ausgefällten Kalkes in größeren Tiefen nicht möglich ist (Pia, 1933). Zieht man nämlich an Hand der Ton- und Kalkuntersuchungen den Einschwemmungsmergel in erster Näherung vom gesamten Sediment ab, so beträgt die Seekreidebildung schon in der Weidenzeit in ufernahen Teilen 3- bis 4mal mehr als in der Mitte des Seeleins; in der Birken- und Kiefernzeit steigt sie auf den Wert des 7- resp. 10fachen. Interessant ist, daß gleichzeitig die Mergeleinschwemmung für alle betrachteten Zeiten an den beiden Lokalitäten (Profil X und XI) fast genau gleiche Beträge (Sedimenttiefen) ausmacht.

Das Pollendiagramm XI (Abb. 15) zeigt in der Birken- und Kiefernzeit dieselben charakteristischen Züge wie die Diagramme VIII und X. Die Birkenzeit beginnt auch hier innerhalb des Hippophaë-Gipfels. Sie ist (nicht sehr ausgeprägt) zweigipflig infolge eines auch in dieser Tiefe noch sehr deutlichen ersten Kiefernvorstoßes (1322,5 cm). Kurz vorher, in der ersten Birkenzeithälfte, steigt die Weide zu einem breiten, niedrigen Gipfel an, während der Sanddorn verschwindet. Der zweite Kiefernvorstoß ist infolge zu geringer Probedichte bei 1317 cm unsichtbar geblieben. Dagegen sind der 3. und 4. Kiefernvorstoß und der endgültige Anstieg zur Dominanz bei 1312,5 cm, 1305 cm und 1300 cm klar entwickelt. Die Weide ist auch hier zur Zeit der starken Kiefernvorstöße sehr schwach vertreten, um dann bis zum Beginn des sekundären Birkenanstieges wieder etwas anzusteigen. Im Abschnitt der stärksten Kieferdominanz finden sich in vier aufeinanderfolgenden Proben von 1297,5—1290 cm Spuren von Hippophaë, ferner bei 1287,5; 1292,5; 1297,5 und 1312,5 cm die letzten Spuren von *Helianthemum alpestre*, nachdem dieses von 1337,5 cm an aufwärts nicht mehr aufgetreten war.

Im ersten Auftreten wärmeliebender Arten zeigt das Diagramm XI im sekundären Birkenvorstoß bei 1285, 1282,5 und 1280 cm die ersten zusammenhängenden Spuren von *Corylus* (in voller Übereinstimmung mit Profil X). *Ulmus* ist auch in diesem Profil derjenige EMW-Pollen, der zuerst ganz regelmäßig aufzutreten beginnt (1280 cm). Schon in den zwei folgenden Proben gesellen sich beide *Tilia*-Arten dazu. Erst von der Probe 1272,5 cm an gesellt sich *Quercus*, und zwar gleich in be-

trächtlicher Menge dazu. Alnus tritt sporadisch bei 1275 cm auf, regelmäßig ab 1267,5 cm.

Was Anzeichen frühern Auftretens wärmeliebender Gehölze betrifft, so könnte gerade Profil XI einige Angaben liefern. Doch muß ich das gehäufte Vorkommen von Abies, Picea, Alnus, Corylus, Ulmus und Tilia zwischen 1315 und 1322,5 cm als Verunreinigung beim Bohrvorgang hinstellen, da die beiden Profile VIII und X an dieser Diagrammstelle trotz mehrfacher Nachprüfung nicht die geringste Spur aufweisen. Man erkennt an diesem Beispiel die Wichtigkeit von Kontrolldiagrammen zur Kontrolle und Elimination von Unregelmäßigkeiten. Es ist wohl nicht Zufall, daß dasselbe Profil XI auch zwischen 1350 und 1358 cm offensichtliche Verunreinigungen aufweist. Bei wenig mächtigen Abschnitten ist die Gefahr einer weiten Verschleppung im Diagramm viel größer als bei mächtigen Ablagerungen, wo allfällige Verschleppungsspuren noch in jüngern Abschnitten steckenbleiben. Zudem spielt die Überlagerung eine wichtige Rolle: in Profil XI steht der ganze Reigen aller Waldbaumpollen für die Verschleppung zur Verfügung; in Diagramm X sind es nur spärliche Corylus- und EMW-Pollen in den obersten Abschnitten, die zur Verschleppung bereit liegen; in Profil VIII fehlen auch diese in den obersten Partien fast ganz. Und entsprechend der Abnahme dieser natürlichen Voraussetzungen für die Verschleppung nimmt auch die Verschleppung ab. Es sei in diesem Zusammenhang auf die gleiche Erscheinung in den Diagrammen von Härr i (1940) hingewiesen: die obern Teile seines Diagramms 2 weisen vor allem Corylus und EMW auf, und sporadisch treten weiter unten besonders Corylus und EMW auf; die obern Teile von Diagramm 10 zeigen viel Buchen, Fichten, Tannen, und die Weidenzeit zeigt mit Vorliebe Spuren dieser Bäume (also Buche in der Weidenzeit!). (Siehe auch S. 179/180.)

Ich stehe deshalb den aus Bohrungen gewonnenen Angaben über frühes Auftreten wärmeliebender Gehölze sehr zurückhaltend gegenüber. Diese Spuren müssen schon in verschiedenen Diagrammen der gleichen Örtlichkeit oder lieber noch verschiedener benachbarter Örtlichkeiten in offensichtlich gleicher Diagrammlage und wenn möglich in ähnlichem Kurvenfeinverlauf auftreten,

oder sie müssen den obern Schichten überhaupt fehlen, wenn sie Beweiskraft haben sollen.

Sämtlichen derartigen Spuren in meinen Faulenseemoosdiagrammen muß ich deshalb die Fähigkeit absprechen, die Existenz jener Bäume in unsern Gegenden nur halbwegs wahrscheinlich zu machen. In einigen Fällen mag Ferntransport oder Auswaschung älterer pollenführender Materialien vorliegen (Iversen, 1936).

Die Pollenhäufigkeit der drei Spätglazialprofile fordert direkt zu einem tabellarischen Vergleich heraus; die entsprechenden Zahlen aus einem vierten anschließend zu besprechenden Profil (XII) sind ebenfalls aufgeführt:

| Zeit | Profil VIII | X | XI | XII | Mittel |
|-----------------------|-------------|-----|-----|-----|--------|
| Weidenzeit I | (3) | 1 | 3 | 1 | 2 |
| „ II | 7 | 12 | 8 | 7 | 8 |
| „ III | 13 | 15 | 28 | 18 | 18 |
| Hippophaë-Abschnitt | 25 | 50 | 40 | 25 | 35 |
| Birkenzeit | 200 | 280 | 200 | 200 | 220 |
| Kiefernvorstöße | 370 | 550 | 300 | 580 | 450 |
| eigentl. Kiefernzeit | 300 | 420 | 230 | 190 | 290 |
| sekund. Birkenvorstoß | fehlt | 650 | 500 | 420 | 520 |
| Haselanstieg | fehlt | 500 | 450 | 300 | 420 |

Die Übereinstimmung im Entwicklungsgang ist außerordentlich schön und um so höher einzuschätzen, als die Untersuchungen des ersten und letzten Profils zwei Jahre auseinanderliegen. Dieses spricht nicht nur für die Zuverlässigkeit der Untersuchung, sondern dafür, daß den Pollendichten der Präparate in ähnlichem und gut erhaltenem Einbettungsmaterial bei einiger Sorgfalt der Präparation ein gewisser wirklicher Sachverhalt in der absoluten Pollendichte der Ablagerungen zugrunde liegt. Dieser Sachverhalt lautet in unserem Fall: Die Häufigkeit des Gehölzpollens steigt in spätglazialen Profilen in der Weidenzeit von geringsten Werten ausgehend erst langsam an, um dann im Hippophaë-Abschnitt sprunghaft in die Höhe zu schnellen. Der weitere Anstieg zur Zeit der Kiefernvorstöße mag durch den Umstand der großen Pollenproduktion der Kiefer bedingt sein. Wieweit trotz dem grundlegenden Wech-

sel der pollenerzeugenden Baumarten klimatische Änderungen beteiligt sind, soll später (S. 172 ff.) erörtert werden. Nach eingetretener Dominanz der Kiefer wird die Baumpollenfrequenz wiederum ein eindeutiger Faktor: Die Mitte der Kiefernzeit ist charakterisiert durch ein Zurückgehen der Pollenfrequenz (hier fast ausschließlich der Kiefer). Vorher, zur Zeit der Kiefernvorstöße, und nachher, zur Zeit des sekundären Birkenvorstoßes, ist die Pollenfrequenz beträchtlich höher. Dieser Umstand spricht gegen eine allzu einheitliche Ausdeutung der pollenanalytisch einfachen Kiefernzeitkurve. Es liegt nahe, dieses typische Verhalten in der Pollenproduktion des Kiefernwaldes als phytometrischen Hinweis auf die Klimaentwicklung hinzunehmen. Es sollen aber vorderhand in Profil XII noch zuverlässigere Frequenzzahlen beigebracht und die Kiefernarten auseinandergehalten werden, die in der Frequenzschwankung eine wichtige Rolle spielen könnten. Der deutliche Rückgang der Pollenhäufigkeit in den Präparaten nach Beginn der Wärmezeit kann durch den Artenwechsel bedingt sein; ein gewisser Rückschlag in der Klimabesserung ist aber nicht ausgeschlossen.

Was Abb. 15 über die Pollenhäufigkeit der Weide sagt, ist schon bei Profil X (S. 62) fast wörtlich richtig gesagt worden: geringe Frequenz im Gebiet von Hippophaë; Hauptverbreitung in der frühen Birkenzeit (evtl. mit Artenwechsel); scharfer Rückgang im Gebiet der Kiefernvorstöße; Tiefstand in der Kiefernzeit; Emporschnellen und Wiederabsinken im Anfangsgebiet des sekundären Birkenanstieges. Man bekommt den Eindruck, daß es sich bei dieser letzten Erscheinung um Förderung durch klimatische Einflüsse und darauffolgende Verdrängung durch die Konkurrenz der Birke und der Hasel handelt.

Die Farne haben auch im Profil XI ihre Hauptverbreitung im letzten Weidenzeit- und im Hippophaë-Abschnitt (*Cystopteris montana*, *Cystopteris* spec., *Polypodium vulgare* und treten dann, scheinbar als Begleiter des typischen EMW, erst wieder massiv auf, wenn der Kiefernwald dem EMW das Feld völlig geräumt hat (*Polypodium vulgare*, *Cystopteris fragilis*, *Dryopteris Phegopteris*).

Die Häufigkeit des Gramineenpollens ist besonders

hoch in der Birken-, Kiefern- und Haselzeit (Stück pro Quadrat-zentimeter Präparatfläche). Diese Tatsache stimmt mit unsern heutigen Kenntnissen über diese Gehölzgesellschaften überein: es handelt sich wohl meist um relativ offene, lichthungerige Bestände. Andererseits besagt der Anstieg der absoluten Gramineenhäufigkeit von der Weiden- zur Birkenzeit wohl auch, daß sich das Klima für die Entwicklung der Gräser gebessert hat, was noch um so wahrscheinlicher ist, als doch der vermehrte Baumwuchs den zur Verfügung stehenden Lebensraum einengte und den freien Windtransport hemmte. Diese Beobachtung steht in voller Übereinstimmung mit den Erfahrungen A a r i o s (1940, S. 71) in Finnisch-Lappland, wonach die «absolute Nichtbaumpollenmenge auch noch beim Übergang von der Birkengebüschregion auf die Tundra stark sinkt, trotzdem das Nichtbaumpollenprozent eine kräftige Steigerung aufweist.» Und wie A a r i o schließt: «Das hohe NBP-Prozent (der Tundra) rührt also davon her, daß die Menge des Baumpollens noch rascher abnimmt als die des NBP», so müssen auch wir das hohe (auf die Baumpollensumme berechnete) Gramineenprozent der Weidenzeit als durch geringsten oder gar fehlenden Baumwuchs bedingt hinstellen. Wir ziehen daraus den Schluß, daß die Weidenzeit nicht das Bild einer Grassteppe, sondern dasjenige einer alpinen Tundra bot.

Die S e d i m e n t u n t e r s u c h u n g wurde im Profil XI auf Kalk, organisches Material und Ton ausgedehnt. Sie bestätigte im wesentlichen die in Profil X gewonnenen Ergebnisse, erweitert sie aber in verschiedener Hinsicht. In den Tiefen von 12 bis 14 m des Profils XI steigt das Kalkprozent nicht über 70—75 % und sinkt öfters auf 40—50 % hinunter, während es in den geringen Wassertiefen von 1—5 m des Profils X auf 90 % steigt und selten unter 80 % sinkt. Man ersieht daraus, daß Profil X ganz im Bereich der Wasservegetation und Seekreidebildung liegt, während Profil XI den Einwirkungen der Einschwemmung viel mehr ausgesetzt ist. Das bedeutet, daß in bezug auf Kalk und Ton und ihre klimatographische Auswertung die größere Tiefe des Profils XI die empfindlicheren Werte liefert. So lassen sich die Zeiten vermehrter Einschwemmung leicht ablesen (Abb. 15): massige Einschwemmung in der frühesten Weidenzeit und Rückgang im 2. und 3. Weidenzeitabschnitt; einschwemmungsarme Zeit in

der (frühen) Birkenzeit; vermehrte Einschwemmung in der Kiefernzeit und Rückgang im Abschnitt des sekundären Birkenanstiegs. Zur Zeit des Haselgipfels und im ersten EMW-Anstieg findet sich nochmals eine Zeit etwas erhöhter Einschwemmung, während die darauffolgende abklingende Haselzeit und besonders die frühe EMW-Zeit ganz ausgesprochen einschwemmungsarm sind. — In bezug auf das organische Material läßt sich schon in der Weidenzeit und Birkenzeit ein leichter Anstieg auf 5—10 % erkennen, der sich zur Zeit des 3. und 4. Kiefernvorstoßes verdoppelt. In der eigentlichen Kiefernzeit ist das Prozent wieder tiefer und schwankt zwischen 7 und 12 %, um erst innerhalb des sekundären Birkenanstiegs Werte von 20—30 % anzunehmen. Die spätere Hasel- und frühere EMW-Zeit haben aber schon wieder niedrigere Werte des organischen Materials. Das braucht nicht notwendig von schlechten Vegetationsbedingungen herzurühren. Die starke CO₂-Bindung durch den Assimilationsvorgang könnte auch die Seekreidebildung so stark gefördert haben, daß der relative Anteil des organischen Materials absinkt. Verstärkte Oxydation führt allerdings zum gleichen Ergebnis; doch dürfte bei erhöhter Temperatur nicht nur die Oxydation, sondern auch die Stoffproduktion gefördert worden sein. Bei allen derartigen Erörterungen macht sich der Mangel der Beziehung auf die Zeit lähmend spürbar.

d) Die Weidenzeit und Profil XII (Abb. 16).

Anläßlich einer Nachprüfung und Erweiterung der Jahresschichtenzählung wurde noch etwas näher der tiefsten Stelle des Moores ein weiteres Profil (XII) mit dem auf 15 m verlängerten Kammerbohrer entnommen. Im Hinblick auf die speziellen Probleme der Spätglazialzeit wurde diesem Profil in jeder Hinsicht besondere Sorgfalt zugewendet. So wurden auch in der pollenarmen Weidenzeit stets 50 Pollen ausgezählt, in der Birken- und Kiefernzeit oft über 100 Pollen zur Berechnung herangezogen, um die spurenweise auftretenden Arten etwas zuverlässiger zu erhalten. Begleiter aller Art wurden besonders sorgfältig notiert. Meßbare *Betula*- und *Pinus*-Pollen wurden ausgemessen, *Pinus* in vielen Proben bei stärkerer Vergrößerung analysiert. Die Analyse des Sediments auf Kalk, organisches Material und Ton

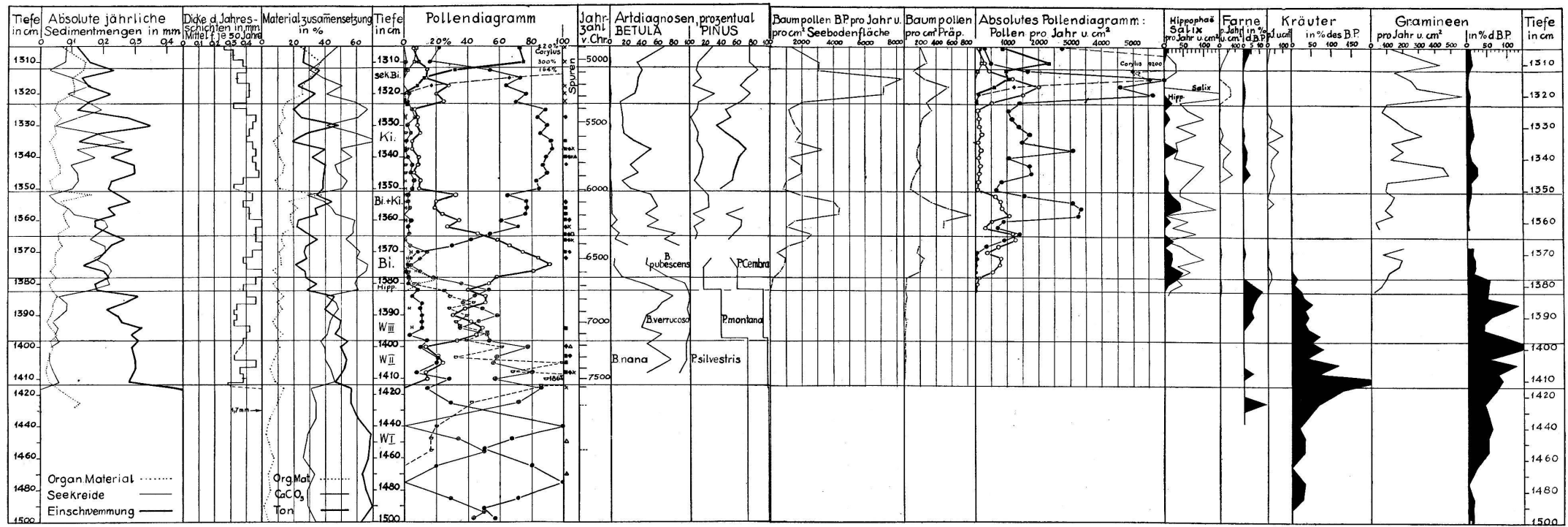


Abb. 16. Faulenseemoos. Pollen- und Sedimentdiagramm XII.

wurde auch hier für jede Einzelprobe durchgeführt. Die Jahres-schichtung wurde bei der Feldarbeit eingehend ausgemessen. Es soll deshalb an Hand dieses Profils (Abb. 16) die Weidenzeit für alle Profile zugleich besprochen werden.

Ich gliedere den vorbirkenzeitlichen Abschnitt, der in Übereinstimmung mit F i r b a s (1935) und andern entsprechend der charakteristischen Vertretung und zeitweiligen Dominanz von *Salix Weidenzeit* genannt werden soll, in drei Abschnitte:

1. (ältester) Weidenzeitabschnitt: Kiefern-Weiden-Abschnitt.
2. (mittlerer) Weidenzeitabschnitt: *Helianthemum*-Weiden-Abschnitt.
3. (jüngster, letzter) Weidenzeitabschnitt: Birken-Weiden-Abschnitt.

Diese drei Abschnitte sollen vorläufig nur als Entwicklungsabschnitte der lokalen Vegetation aufgefaßt werden. Es sei aber schon hier bemerkt, daß dieser dreiteilige Entwicklungsablauf nicht auf das Faulenmoos beschränkt ist. Ich finde ihn vom mittlern Simmental (in Höhenlagen von 900—1000 m) bis hinunter nach Vielbringen bei Bern in gleicher, scharfer Ausprägung; er findet sich auch im Gänsemoos bei Schwarzenburg (810 m ü. M.). Es ist von Bedeutung, daß er sich aber auch bei H ä r r i (1940) in seiner Arbeit über das Wauwilermoos findet: In seinem Pollendiagramm 2 (S. 37) findet man nach Ergänzung des Diagramms nach den Angaben S. 31 nach unten dieselben drei Abschnitte, ebenfalls in Pollendiagramm 10 (S. 45) unter Berücksichtigung von S. 27 (übrigens ein Diagramm, das in ältere Zeiten hinunterreicht als Diagramm 2; in Diagramm 10 betrachte ich freilich den Birkengipfel der Probe 51 als zum Birken-Weiden-Abschnitt gehörig, während sich die Birkenzeit in der Nähe der Probe 49 oder 48 befinden dürfte). Schließlich aber findet sich die gleiche dreiteilige Entwicklungsfolge mit größter Wahrscheinlichkeit nach den Untersuchungen von F i r b a s (1935) auch am Federsee: der erste Abschnitt ist wohl infolge zu geringen Pollengehalts des Sediments nicht dargestellt; der 2. und 3. Abschnitt haben aber ähnliche Ausprägung wie in Faulensee; die von mir *Helianthemum alpestre* zugezählte Pollenart ist zwar bei F i r b a s nicht erwähnt; es mag sich um eine lokale Verschiedenheit handeln; möglicherweise aber ist der Pollen von *Helianthemum* in den ältern Proben vorerst noch dem Pollentyp von *Hippophaë* zuge-

rechnet worden, was auch ich längere Zeit tat, so daß die Übereinstimmung eine vollkommene wäre. Es ist nun trotz dieser Parallelität über so große Distanzen wohl möglich, daß sich die angeführten drei Abschnitte zeitlich durchaus nicht entsprechen, daß sie nur den natürlichen Ablauf der Vegetationsentwicklung nach dem Gletscherrückzug darstellen.

Wohl ganz im Sinn des zuletzt geäußerten Gedankens ist der erste Weidenzeitabschnitt aufzufassen. Er findet sich in Faulensee

| | | |
|----------------|-----------------------------------|-----------|
| in Profil VIII | ab 387 cm und tiefer | 2 Proben |
| in Profil X | ab 510 cm und tiefer (bis 600 cm) | 4 Proben |
| in Profil XI | ab 1373 cm und tiefer | 7 Proben |
| in Profil XII | ab 1414 cm und tiefer | 11 Proben |

Total untersuchte Proben 24

Diese Grenzen sind auf ± 1 cm genau schon makroskopisch im Felde feststellbar als Grenze zwischen dem blauen Lehm des ersten und dem blaugrauen Seekreide-Lehm-Sediment des zweiten Abschnittes. Die untere Grenze bildet stets Moräne; sie ist allerdings nur in Profil X mit der Bohrerspitze erreicht worden; die Ablagerungen dieses 1. Abschnittes erreichen in diesem Fall eine Dicke von 90 cm. Sie bestehen in den drei analysierten Profilen zu 60—74 % aus Ton und zu 40—26 % aus Kalk, enthalten hie und da eingeschwemmte eckige Steinchen von $\frac{1}{2}$ —1 cm Größe und seltener kleinkörnige horizontale Sandschichtchen. Man wird die feinkörnigen Teile dieser Ablagerung als Seemergel bezeichnen dürfen.

Ob man zur Erklärung der vorgefundenen eckigen Steinchen im Seemergel Gletscherdrift heranziehen muß und darf, ist fraglich. Favre und Joukowsky (nach Lüdi, 1939, S. 485) haben auf diese Möglichkeit für den Genfersee aufmerksam gemacht. Die Verhältnisse liegen allerdings bei dem großen Becken des Genfersees anders als bei den kleinen Tümpeln unseres Spätglazials. Dennoch bezweifle ich, daß diese Schichten geschichtete Moräne darstellen, aus folgenden Gründen: Lüdi betont, daß merkwürdigerweise größere Stücke selten sind. Wenn sich die letzten eckigen Steinchen im Profil Ruth II bei 13,5 m finden, wäre die unwahrscheinliche Annahme zu machen, daß der Rhonegletscher den Genfersee erst zu Beginn der Wärmezeit verlassen hätte. Und doch besitze ich aus den westlichen Berner Alpen und selbst dem Unterwallis Diagramme, die schon zur Birkenzeit eisfrei und schneefrei waren. Es ist danach wohl möglich, daß Treibeis zur Zeit der jeweiligen Frühjahrsschneesmelze solches Material verfrachtet hat, es scheint mir aber ausgeschlossen, daß es sich dabei um Reste des eiszeitlichen Rhonegletschers handelte. Auch

ist in Erwägung zu ziehen, ob es sich nicht um Einschwemmung torrentiellen Charakters, eventuell bei relativ tiefem Seestand und starker Auswaschung damals rasch gletscherfrei gewordener Gebiete der Alpen gehandelt haben könnte, um so mehr als die Steinchen flach, also relativ leicht verfrachtbar sind. Bei den kleinen Tümpeln unserer Gegend kommt jedenfalls Einschwemmung, höchstens Verfrachtung durch Frühjahrstreibeis in Frage.

Nach dieser Auffassung über die Genesis dieser Sedimente, handelt es sich um meist rein postglaziale Ablagerungen, die nur deshalb spätglazial genannt werden, weil zur Zeit ihrer Entstehung die letzten Stadien der Eiszeit in höhern Lagen nicht vorbei waren. Die Bezeichnung «Glazialton» wird deshalb besser vermieden.

Dieser erste spätglaziale Abschnitt folgt dem Gletscher auf dem Fuße und verdankt seine Sedimente den Auswaschungserscheinungen auf den entblößten Neulandflächen. Manche Mulde ist dabei ausgefüllt, manche auch nur verkleinert worden. Der Zeitraum für die Ablagerung der meist relativ mächtigen Schichten ist wahrscheinlich recht kurz gewesen. Nach Untersuchungen H. Friedels (1937) am Rhonegletscher dauert es rund 100 Jahre, bis die Vegetation den alten Gletscherboden besiedelt hat und rund 300 Jahre, bis Braunerdeböden entstanden sind. Bei diesen Ergebnissen ist allerdings zu bedenken, daß die betreffenden Vorgänge in der Höhenregion der obern Waldgrenze verlaufen und nicht in der Region einer alpinen Tundra wie zur Zeit des Gletscherrückzugs. Die für die Besiedlung notwendigen Zeiträume dürften sich deshalb eher auf das Doppelte obiger Zahlen belaufen.

Das hindert nicht, daß sich schon sehr bald nach dem Gletscherrückzug Pioniere der alpinen Tundra ansiedelten. Ihre Reste sind uns in kleinsten Spuren erhalten, die hier, nach der Häufigkeit ihres Auftretens in den 24 untersuchten Proben geordnet, aufgeführt werden (die römischen Ziffern bedeuten die Nummer des Profils, die arabischen die Tiefe in Zentimeter):

23mal Pinus.

21mal Salix.

17mal Gräser (in den frühern Proben meist fehlend oder vereinzelt).

11mal ein Kräuterpollen: braune, vielporige Gitterkugeln, kleine, mittlere und größere Formen (15—30 μ); nach Zander (1935) wohl Plantaginaceen, Chenopodiaceen und Caryophyllaceen. (VIII, 390; X, 520; XI, 1375, 79, 83, 87, 93, 99; XII, 1480, 1425, 1416.) In der einzelnen Probe oft mehrfach.

- 9mal Spuren von Holz, nicht bestimmbar in XI, 1375, 87, 99; XII, 1495, 80, 60, 50. Pinus-Holz in XI, 1387, 1393. Birkenholz (wahrscheinlich) in XI, 1383, 87.
- 8mal *Helianthemum alpestre*, meist nur einzeln: X, 530; XI, 1375, 83, 87; XII, 1450, 35, 25, 16.
- 6mal Gliedertrierreste: Kiefer, Endklauen, Fazettenaugen. XI, 1379, 83, 87; XII, 1450, 35, 16.
- 5mal *Picea*: XI, 1383, 1387 drei Exemplare, 1399 drei Exemplare; XII, 1470, 1450.
- 4mal *Betula*: XI, 1379, 1387, 1393, 1399.
- 3mal Kompositenpollen, nur in jüngsten Proben: X, 510, 520; XII, 1416.
- 2mal *Dryas octopetala*, zwei Pollenkörner, die sich mit rezentem Material gut decken XII, 1450, 1416.
- 2mal *Abies alba*, je ein Pollenkorn in XI, 1383 und XII, 1416.
- 1mal *Corylus*, ein Pollenkorn: XI, 1379.
- Tilia*, ein großes Korn: XI, 1379.
- Polypodium vulgare*, eine Spore: XII, 1425.
- ein großes, schwefelgelbes, betulaartiges Korn: XI, 1387.
- eine halbkugelige, braune Eihülle: XII, 1425.

Wie haben wir diese Spuren zu beurteilen? Suchen wir nach ähnlichen Ablagerungen aus der Jetztzeit, so liegt es nahe, an unsere vegetationslosen Hochgebirgsseen zu denken. Huber-Pestalozzi (1926) erwähnt in seiner Arbeit über die Schwebeflora der alpinen nivalen Stufe (S. 906) das häufige Auftreten von Holzfragmenten und Nadelholzpollen in Hochgebirgsseen und die starke Einschwemmung von Mergel und Detritus anlässlich der Schneeschmelze und heftiger sommerlicher Regengüsse (S. 862). Ganz ähnlich im Charakter des Pollengehalts, nur pollenreicher sind die Ablagerungen aus der Tundra von Finnisch-Lappland, die L. Aario (1940) beschreibt.

Aario erwähnt, daß der Kiefernpollen meist etwas überrepräsentiert sei, in reinen Birkenwäldern 33 %, auf der Tundra 72 % betrage bei einem Abstand des Kieferngebiets von 100—130 km (S. 79). Einzelne Fichtenpollen könnten aus 150—500 km Distanz stammen; die Tundra zeige 5 %, vereinzelt bis 10 % Fichte, der Birkenwald 2 %. In bezug auf die vereinzelt Lindenvorkommen in rezenten und älteren Schichten diskutiert Aario verschiedene Erklärungsmöglichkeiten und kommt zum Schluß (S. 85): «Indem der fragliche Pollen der edeln Laubbäume vorwiegend in waldarmen oder waldlosen Gebieten angetroffen worden ist, deren eigene Pollenproduktion schwach oder sogar unbefindlich ist, erhält auch der von weither kommende Pollen die Möglichkeit, sich im Torf in so reichlicher Menge anzusammeln, daß er hin und wieder in den Analysen zum Vorschein kommt.» Die Anwesenheit des Edellaubpollens spreche eher für schwache Bewaldung und ungünstige klimatische Verhältnisse (S. 85). Weidenpollen betrage auf der Tundra im Mittel 6 %, in reinen Birkenwäldern 3 %, indiziere mit großer Wahrscheinlichkeit Tundra oder lichten Birkenwald, trete aber oft recht unregelmäßig und spärlich auf. Gramineenpollen trete in der Tundra

reichlicher als in den übrigen Regionen auf, könne aber auch etwa fehlen. Kräuterpollen trete in der Tundra ganz besonders reich an Zahl und Arten auf, während er im Birkengebüsch und Wald zurücktrete. Caryophyllaceen- und Kompositen-Pollen wurde von Aario besonders reichlich und häufig in den nördlichsten Abschnitten des untersuchten Tundragebietes gefunden (Kompositen z. T. vom *Solidago*-Typ) (S. 91).

Mir scheint eine ganz große Ähnlichkeit mit den genannten Vergleichsobjekten klar vorzuliegen, und man wird kaum fehlgehen, wenn man den ersten Weidenzeitabschnitt als Pionierstadium einer alpinen Tundra bezeichnet. Trotzdem bleiben gewisse Unsicherheiten bestehen, so z. B. die Anwesenheit von *Pinus*. Wenn man schon die äußerst geringe Häufigkeit und die Fernflugerscheinungen in Lappland gegen eine Anwesenheit in Faulensee sprechen lassen möchte, so mahnen die Spuren von Kiefernholz doch zur Vorsicht. Diese könnten zwar auch durch Windtransport oder sogar sekundäre Umlagerung im Sinne von Iversen (1936) ins Faulenseelein gelangt sein. Gegen eine Anwesenheit der Kiefer spricht auch die ausgesprochene Kleinheit der Pollenkörner (um 50μ), die ja auf *Pinus silvestris* deuten könnte. Auch hiergegen kann man wieder den Einwand erheben, daß unter äußerst schlechten klimatischen Bedingungen die Pollengröße (und die Pollenzahl) wohl eine Reduktion erfahre. (Jaeschke, 1935 und Hörmann, 1929, führen die Standortsabhängigkeit an; ich selbst habe mehrfach beobachtet, daß *Picea* und *Abies* bei ihrem ersten Auftreten besonders klein waren; oder spielt vielleicht Ferntransportauslese eine Rolle?) Mir scheint die Vermutung begründet, daß im ersten Weidenzeitabschnitt *Pinus* der Faulenseeegend gänzlich gefehlt hat. Nicht einmal die unvereisten Abhänge der Umgebung haben wahrscheinlich *Pinus* in nennenswertem Ausmaß getragen, da sonst wohl eine raschere Besiedlung erfolgt wäre, als sie sich in den folgenden Weiden- und Birkenzeitabschnitten geltend macht. Auf Grund der Ergebnisse der Pollenanalyse von Materialien aus dem vorgelagerten Gebiet von Faulensee, von Gerzensee und von Vielbringen und vom Gänsemoos bei Schwarzenburg, auch von Wauwil (Härr, 1940), nach denen nicht nur im gleichen Entwicklungsabschnitt, sondern auch in der ganzen spätern Weidenzeit *Pinus* stets äußerst spärlich vertreten war, gewinnt man den Eindruck, daß *Pinus* zur Zeit des Gletscherrück-

zuges hinter den Thunersee von weiten Gebieten unseres Landes noch nicht Besitz ergriffen hatte, allerhöchstens punktförmige Besiedlungsareale aufwies. Von Kiefern-, aber auch von Birkenwald, der dem Gletscher mehr oder weniger auf dem Fuße folgte oder auch nur die unvereisten Gebiete besiedelte, ist im Vorland der Berner Alpen auch zur Zeit des intensiven Gletscher-rückzugs keine Rede. Es unterstreicht das Genannte noch, wenn man bedenkt, daß Jahrhunderte nach dem Gletscherrückzug in Faulensee sogar *Betula nana* nur spärliche Spuren hinterlassen hat.

Angesichts dieser Verhältnisse ist eine Anwesenheit der anspruchsvolleren Laubbäume auch im Vorfeld des Gletschers rundweg zu verneinen. Für *Corylus*, *Tilia*, *Abies* besteht die Möglichkeit einer Verschleppung durch den Bohrer; Ferntransport (wie in der nordischen Tundra) ist durchaus möglich. Die Auswertung solcher Vorkommnisse als eines Hinweises für eine Klimabesserung, die die betreffenden Bäume zwar nicht an den Ort selbst, aber deren Verbreitungsgebiet näher an den Ort herangerückt hätte, steht solange auf schwachen Füßen, als sie derart vereinzelt und im Diagramm nicht lokalisiert sind. In gewisser Hinsicht bestimmter ist das Vorkommen von *Picea*, da für diese Art bei dem relativ häufigen und von andern Arten isolierten Auftreten und bei der Lokalisation auf die frühern Teile dieses ersten Weidenzeitabschnittes Verschleppung so gut wie ausgeschlossen ist. Ferntransport im Sinne A a r i o s (1940) trifft hier wohl am ehesten zu und spricht für die sehr offene Vegetation. Woher dieser Ferntransport stammt, ob von Westen, entsprechend der Hauptwindrichtung, oder von Osten, wie gewisse Untersuchungsergebnisse der Pollenanalyse wahrscheinlich machen, ist eine müßige Frage, solange nicht zuverlässige zusammenhängende Untersuchungsreihen über weite Strecken vorliegen.

Wenn danach erwiesen scheint, daß jeglicher Baumwuchs fehlte, so sprechen die Ergebnisse über Kräuterpollen sogar für ein Initialstadium der alpinen Tundra. Gramineen, Kompositen, *Dryas*, vielporige Gitterkugeln (cf. *Caryophyllaceen*), *Helianthemum alpestre*, haben alle (abgesehen von der spärlichen Artenvertretung) ihre Hauptverbreitung in der zweiten Hälfte des ersten Weidenzeitabschnitts, ebenso die Gliedertierreste. Dieser

früheste Weidenzeitabschnitt weist also deutlich eine genetische Entwicklung auf. Ihr entspricht aber klimatisch offenbar eher ein Stillstand, wenn nicht gar ein leichter Rückschlag; die tonigen Einschwemmungen nehmen nämlich gegen den Schluß hin eher zu. Die Tatsache des Eisfreiwerdens spricht zwar mächtig für eine stattgefundene Klimabesserung; wann sie stattgefunden hat, ist selbst graphisch an Hand des Pollendiagramms nicht festgestellt; sie muß vor dem ersten Weidenzeitabschnitt von Faulensee liegen. Die klimatischen Verhältnisse waren für die Gegend von Faulensee dann längere Zeit hindurch stabil, was nicht bedeuten muß, daß der Gletscherrückzug zum Stillstand gekommen sei, was aber bedeutet, daß durch klimatische Einflüsse oder Tot-eismassen (Thunersee!) eine stärkere progressive Entwicklung der limnologischen und Vegetationsverhältnisse unmöglich war.

Von einem einigermaßen gesetzmäßigen Kurvenverlauf der verschiedenen Pollenarten ist in diesem ersten Weidenzeitabschnitt keine Rede, ein Zeichen mehr für die geringe Pollenzahl, den Pioniercharakter der Vegetation und die rein lokale Ausprägung des Pollendiagramms.

Eine unerwartete und doch aus dem Charakter des Sediments als Einschwemmungsmaterial verständliche Erscheinung besteht darin, daß die Ablagerungen größerer Wassertiefe (Profile XI und XII) mehr Detritus enthalten und deshalb aufschlußreicher sind als die entsprechenden geringerer Tiefe.

Die Unbestimmtheit dieses Initialstadiums des ersten Weidenzeitabschnitts wird plötzlich durch einen wohlcharakterisierten zweiten Weidenzeitabschnitt, den Helianthemum-Weiden-Abschnitt abgelöst. Die untere Grenze wird durch den Übergang von Einschwemmungsmergel zu Seekreide oder doch zu seekreidehaltigem Material dargestellt. Sie ist in der Sedimentanalyse um so deutlicher, in je geringerer Wassertiefe sie lag, also je randlicher das Profil entnommen wird. Man vergleiche die relativ schwachen, wenn auch sehr deutlichen Anstiegsbewegungen der Kalkkurve in den Profilen XI und XII und den eindrucklichen Anstieg in Profil X zu einer Seekreide mit 70 % Kalk. Nach der heute vorherrschenden Meinung über die Ursachen der Seekreidebildung (Pia, 1933) handelt es sich bei dieser Grenze um das Ereignis der ersten Wasserbesiedlung des Faulenseeins durch kalkfällende Organismen. Da die Seekreide

besonders in der Uferregion gebildet wurde, bedeutet die genannte Grenze den Übergang des Faulenseeleins von einem vegetationslosen oder sehr vegetationsarmen Kaltwasserseelein zu einem wohl noch mäßig sommerwarmen Seelein mit typischer Ufer- und wurzelnder Wasservegetation. Von diesem Moment an sind die Sedimente des Faulenseeleins durch die Vegetation weitgehend beeinflußt oder gar bedingt. Diese untere Grenze fällt pollenanalytisch mit einer fast plötzlichen starken Entwicklung von *Helianthemum alpestre* (oder einer andern Art des gleichen Pollentyps) zusammen. Der Abstieg von *Helianthemum* und der endgültige Anstieg von *Betula* mögen die obere Grenze dieses zweiten Weidenzeitabschnittes darstellen. Es handelt sich um die Abschnitte:

| | | |
|-------------|------------------|----------|
| Profil VIII | von 387— 362 cm | 5 Proben |
| Profil X | von 510— 483 cm | 4 Proben |
| Profil XI | von 1373—1353 cm | 8 Proben |
| Profil XII | von 1414—1397 cm | 6 Proben |

Total untersuchte Proben 23

Wie schon in der Tabelle auf S. 69 dargelegt wurde, steigt die Pollenhäufigkeit vom ersten zum zweiten Weidenzeitabschnitt von etwa 2 auf 8 Pollen/cm² Präparatfläche. Wir betrachten diese Erscheinung als Ausdruck der Begünstigung der Vegetation durch ein irgendwie besseres Klima.

Der Fossilgehalt sei auch für den zweiten Weidenzeitabschnitt, geordnet nach der Häufigkeit des Auftretens in den 23 Proben, wiedergegeben:

- 23mal *Salix*, zugleich die absolute Dominante der zur Baumpollensumme gerechneten Arten.
- 23mal *Helianthemum alpestre*, in der absoluten Häufigkeit meist etwas schwächer, vereinzelt aber viel stärker vertreten als *Salix*.
- 23mal Gramineenpollen, meist 50—100 %, vereinzelt bis 300 % der Baumpollensumme.
- 22mal *Pinus*, tritt in diesem Abschnitt absolut etwa gleich stark wie im ersten Abschnitt auf, relativ aber schwächer als dort.
- 19mal *Betula*, ist noch schwach vertreten, zeigt jedoch gegen den Schluß stetige und reichlichere Vertretung, weist ganz am Schluß meist eine kleine Depression auf.
- 17mal ein Kräuterpollen: braune, vielporige Gitterkugeln (z. T. Caryophyllaceen), total 37 Stück.
- 8mal andere unbekannte Kräuterpollen (14 Stück).
- 6mal Kompositenpollen, je 1 Stück.
- 5mal Holzspuren.
- 5mal Gliedertierreste.

3mal *Corylus* (in den letzten Proben der Profile XI und XII).
2mal *Picea* (XI, 1365; XII, 1400).
2mal *Abies* (X, 485; XI, 1370).
1mal *Tilia* (XI, 1358).
1mal *Alnus* (XI, 1356).
1mal *Ulmus* (XII, 1405).
2mal *Dryas octopetala* (XII, 1405 und 1398).
2mal *Polypodium vulgare* (XI, 1368; XII, 1408).
2mal *Cystopteris montana* (XI, 1370; XII, 1408).
2mal Spuren von Moosen (reichlich bei XI, 1365; spärlich bei XII, 1410).
2mal Pilzhypen und -sporen (XI, 1370; XI, 1362).
1mal halb ovale Eihülle (XII, 1410).
Ferner: *Pisidium personatum* XI, 1371; *P. milium* XI, 1371; *P. subtruncatum* XI, 1371; *P. casertanum* (?) X, 495 cm. (Für die bereitwillige Bestimmung danke ich Herrn Dr. J. Favre, Genf, herzlich.) Ohne auf eine längere Diskussion dieser spärlichen Funde einzutreten, möchte ich nur folgende zwei Feststellungen anfügen: Die 4 angeführten Pisidien sind gerade die 4 im Genferseebecken besonders hoch steigenden Arten (nach J. Favre, 1927, S. 340). Die hier gefundenen Pisidien sind viel älter als die im Genfersee gefundenen ältesten Mollusken (nach W. Lüdi, 1939a, S. 490).

Beim Vergleich der Fossillisten des 1. und 2. Weidenzeitabschnittes springt uns z. T. eine gewisse Entwicklung in die Augen: *Salix* ist jetzt vollkommen stetig und reichlich vorhanden. Das gleiche gilt von den Gramineenpollen, aber auch von *Helianthemum alpestre*. *Betula* ist fast stetig geworden und in einer Aufstiegsbewegung begriffen, besonders im zweiten Teil dieses Weidenzeitabschnittes. Der Kräuterpollen ist bedeutend reichlicher und stetiger.

Eine zweite Gruppe von Fossilien verharrt dagegen auf ihrem alten Stand: *Pinus*, *Abies*, *Tilia*; *Picea* hat abgenommen, *Corylus* leicht zugenommen. *Dryas* und Gliedertierreste wahren etwa die alte Vertretung, Holzfragmente nehmen aber stark ab.

Diese Tatsachen und die Sedimentanalysen weisen darauf hin, daß die mergelige Einschwemmung stark abgenommen hat infolge eines dichtern Schlusses der Vegetation, und zwar der Wasser- und der Landvegetation. Es handelt sich aber immer noch um eine stark gehemmte Vegetation, wohl um eine nordisch-alpine Tundra mit spärlich einwandernder *Betula*. Falls die Bestimmung des Pollentypus von *Helianthemum alpestre* wirklich die richtige Art trifft, könnte man für diese Zeit an alpine Trockenrasen, an Assoziationen vom Typus des *Seslerieto-Semperviretums* denken, in die ja gewisse Caryophyllaceen und Kompo-

siten, aber auch Spalierweiden und Dryas wohl paßten. Ein Klima mit kurzen, relativ warmen Sommern und langen, vielleicht eher schneearmen Wintern könnte diesem Abschnitt entsprechen.

H. Gilomen (1941) ist bei Anlaß seiner Blaugrashaldenstudien zur Überzeugung gelangt, daß die in der Stockhornkette besonders reichentwickelten Blaugrashalden wenigstens seit der letzten Interglazialzeit unser Gebiet besiedelten, die letzte Eiszeit also zwischen Talgletscher und Schneegrenze überdauert haben. Unsere noch spärlichen Fossilfunde scheinen mit dieser pflanzengeographischen Auffassung zusammenzufallen. Aus dem Überdauern der Eiszeit in unserer Gegend erklärt sich auch zwanglos das frühe Auftreten im Ausaperungsgebiet der Talgletscher.

Wertvoll und eindeutig ist das Verhalten des Fernflugpollens beim Übergang vom ersten zum zweiten Weidenzeitabschnitt. Im Gegensatz zur Entwicklung aller andern Pollenarten bleibt er absolut auf dem Stand eines sporadisch und vereinzelt auftretenden Pollens. Sehr eindrücklich ist in allen Profilen die Abnahme des mehr oder weniger dominanten Pinus-Prozentes des ersten Abschnittes zu den untergeordneten, gelegentlich sogar 5 % unterschreitenden Werten im zweiten Weidenzeitabschnitt.

Ob es sich bei diesem Abschnitt wie beim ersten um eine rein lokale Entwicklung handelt? Er ist in meinem Untersuchungsgebiet von Vielbringen bei Bern und vom Gänsemoos bei Schwarzenburg bis ins mittlere Simmental hinauf typisch verbreitet, findet sich gleich typisch im Wauwilermoos (Hä r r i, 1940) und wahrscheinlich am Federsee (F i r b a s, 1935). Wenn man dem Abschnitt den lokalen Charakter einer sich ausbreitenden Tundra geben will, in die Birke einwandert, und wenn man dabei einen klimatischen Einfluß auf den Ablauf dieses Geschehens verneint, so sind folgende Punkte nicht recht verständlich:

1. Warum erscheint die typische Tundrenvegetation und mit ihr vermehrte Pollenproduktion so unvermittelt?
2. Warum steigt *Betula* nicht gleichmäßig an, sondern weist fast überall kurz vor dem Anstieg zum dritten Weidenzeitabschnitt eine scharfe Depression auf?
3. Warum sinkt *Helianthemum* innerhalb des zweiten Weiden-

zeitabschnittes stark ab, um vor dem Betula-Anstieg gerade der Weide Platz zu machen?

4. Warum weist gerade dieser Abschnitt mehrfach Fernflugpollen wärmeliebender Arten auf?

Es scheint mir, daß doch manches für eine synchrone, weil klimatisch gleichsinnig bedingte Erscheinung spricht, deren Anfang zwar in der Nähe des zurückweichenden Gletschers rein lokalglaziologisch bedingt ist und verkürzt erscheint, deren Verlauf aber für ganz Mitteleuropa mehr oder weniger einheitlich ist. Ich bin mir des hypothetischen Charakters einer solchen Parallelisation bewußt; manche schlagende Ähnlichkeit in der Kurvenentwicklung verschiedener Örtlichkeiten hat mich zu dieser Mutmaßung geführt, die als Arbeitshypothese aufgefaßt sein möchte. In diesem Zusammenhang sei die Frage aufgeworfen, ob nicht gerade der Fernflugpollen auf Grund minutiöser Untersuchungen als Mittel zur Parallelisation herangezogen werden könnte.

Der dritte oder jüngste Weidenzeitabschnitt, der Birken-Weiden-Abschnitt, ist der bisher am häufigsten gefundene Teil der Weidenzeit; er liegt unter der Birkenzeit und seine Pollenhäufigkeit von ca. 18 Stück/cm² Präparatfläche, also doppelt soviel wie im vorausgegangenen Abschnitt (immerhin noch zwölfmal weniger als in der Birkenzeit), ließ vereinzelt eine Untersuchung tunlich erscheinen.

Die untere Grenze dieses dritten Abschnittes wurde schon definiert als Birkenanstieg und Helianthemum-Abstieg. In ihr liegt meist eine Zunahme der Kalkkurve auf ein erhöhtes Niveau. Gleichzeitig erfolgt am Anfang dieses Abschnittes eine Zunahme der Pollenhäufigkeit auf Werte, die beträchtlich über dem oben angegebenen Mittel von 18 Stück/cm² liegen. Diese untere Grenze erscheint deshalb als klimatisch bedingter Übergang.

Die obere Grenze ist gegeben durch den Salix-Abstieg, den Helianthemum-Abstieg und den Hippophaë-Anstieg. Gleichzeitig steigt nach einem vorübergehenden Tiefstand die Kalkkurve kräftig und endgültig an. Die Kurve der Pollenhäufigkeit steigt nach einem Tiefstand ebenfalls stark und endgültig an. Das Nichtbaumpollenprozent sinkt endgültig unter Werte von ca. 50 %, um bald noch tiefer zu sinken. Wir befinden uns an einer meist schon stratigraphisch und makroskopisch durch den Über-

gang von mergeliger Seekreide zu reiner, lockerer, weißer Seekreide gekennzeichneten, wohl nur klimatisch bedingten Grenze. Hier liegt der Beginn einer Bewaldung durch Gebüsch und Birkenbestände.

Der 3. Weidenzeitabschnitt umfaßt in den 4 Profilen folgende Teile:

| | | |
|-------------|------------------|----------|
| Profil VIII | von 362— 322 cm | 8 Proben |
| Profil X | von 483— 448 cm | 7 Proben |
| Profil XI | von 1353—1334 cm | 7 Proben |
| Profil XII | von 1397—1381 cm | 8 Proben |

Total untersuchte Proben 30

Der Fossilgehalt sei wiederum, geordnet nach der Häufigkeit des Auftretens in den 30 Proben, wiedergegeben:

30mal *Salix*.

30mal *Betula*, beide in ungefähr gleichen Anteilen.

30mal Gramineenpollen, stets reichlich.

29mal *Helianthemum alpestre*, 15—20—30 % der Baumpollensumme; gegen den Schluß verschwindend.

29mal *Pinus*, 10 % nur sechsmal überschreitend.

15mal ein Kräuterpollen: braune vielporige Gitterkugeln (z. T. Caryophyllaceen), total 23 Stück.

4mal andere unbekannte Kräuterpollen, 5 Stück.

4mal Kompositenpollen, je ein Stück: XI, 1347,5, 1345, 1342,5; XII, 1394.

14mal Pteridophyten-Sporen (35 Stück), meistens *Cystopteris montana*, vereinzelt am oberen Ende des Abschnittes *C. fragilis*; 4mal *Polypodium vulgare* nur am Ende des Abschnittes; 1mal *Woodsia spec.* in XII, 1386 cm; 1mal *Dryopteris Lonchitis* an der oberen Grenze des Abschnittes (X, 445).

1mal *Dryas octopetala* in XII, 1396 cm.

2mal *Corylus*: X, 480; XI, 1337,5.

1mal *Tilia*: X, 480.

1mal *Picea*: XI, 1335.

1mal *Ulmus*: XII, 1394.

4mal Gliedertierreste.

Hippophaë rhamnoides tritt in drei Profilen nur ganz am Ende des Abschnittes auf, wurde aber doch in Profil XII bei 1394 und bei 1388 cm vereinzelt gefunden.

Mehrfach halb ovale Eihüllen.

Die vier Pollendiagramme zeigen im allgemeinen *Betula* und *Salix* in regem Dominanzwechsel: drei *Betula*-Gipfelchen werden jedesmal von einem *Salix*-Gipfelchen gefolgt (in Profil XII sind die zwei ersten *Betula*-Gipfelchen nicht getrennt). *Pinus* nimmt gegenüber dem zweiten Weidenzeitabschnitt eher niedrigere Prozentwerte in Beschlag, wohl deshalb, weil die Pollenproduktion

der ortsanwesenden Gehölze zugenommen hat. *Pinus* dürfte auch hier nur durch Fernflug ins Faulenseemoos gelangt sein. Das durch *Betula* prozentual etwas verdrängte *Helianthemum alpestre* ist absolut wohl kaum wesentlich zurückgegangen. Mit *Betula nana* (es handelt sich wohl zur Hauptsache um diese Art) und den zahlreichen Pteridophyten scheint ein recht nordisch anmutendes Element in die alpine Tundra eingedrungen zu sein. Aario (1940, S. 70) bezeichnet das häufige Vorkommen von Pteridophytensporen als kennzeichnend für Tundraproben, erwähnt aber noch, daß in der Birkenregion kaum eine Abnahme erfolge, wohl aber in der Kiefernregion. Man wird deshalb den dritten Weidenzeitabschnitt als Zeit nordisch-alpiner Tundravegetation mit reichlichen Zwergbirkengebüsch und wohl ganz vereinzelt hochstämmigen Birken bezeichnen dürfen (wenigstens sprechen Pollenmessungen dafür).

In bis ins Detail ähnlicher Ausbildung findet sich dieser dritte Weidenzeitabschnitt auch in Vielbringen bei Bern. Sehr ähnlich, infolge zu geringer Probedichte höchstens verkürzt, finde ich ihn in meinem ganzen Untersuchungsgebiet bis in Höhen von 900 m ü. M. Er findet sich, ebenfalls etwas summarisch, in den beiden Profilen 2 und 10 vom Wauwilermoos (H ä r r i, 1940, S. 37 u. 45). Firbas (1935) hat ihn in verblüffend großer Ähnlichkeit am Federsee gefunden. Er ist von Firbas (1935, S. 18, und 1934, S. 126/28) aber auch in der westpfälzischen Moorniederung festgestellt worden. Ähnlich sind die Ergebnisse Oberdorfers (1931) am Schluchsee im Schwarzwald (vgl. besonders Diagramm 4 vom Fischbachdelta) und bei Urbis in den südlichen Vogesen (Oberdorfer, 1937). In den gleichen Abschnitt gehören wohl auch die untersten Proben aus dem Pfrungerried zwischen Federsee und Bodensee (F. B e r t s c h, 1932). Von den genannten Arbeiten weisen die ältern meist nur ganz wenige weidenzeitliche Spektren auf und sind zu einem eingehenden Vergleich nicht geeignet. Auf zwei abweichende Ergebnisse in bezug auf den dritten Weidenzeitabschnitt sei noch verwiesen. Das eine betrifft das Diagramm Ruth II aus dem Genfersee von L ü d i (1939, S. 471), das andere dasjenige vom Kolbermoor am Rosenheimersee im bayrischen Alpenvorland von Firbas (1935, S. 18). Beide erhaltenen weidenzeitlichen Abschnitte sind dominiert von *Pinus*, wäh-

rend die Weide im Genfersee kaum von Bedeutung ist, im Rosenheimersee stark zurücktritt. Auffälliger ist aber noch das vollständige Fehlen von *Betula* in den zwei untersten Proben des Genferseeprofiles. Es ist angesichts der relativ knappen Entwicklung (resp. der großen gegebenen Probeabstände) der spätglazialen Abschnitte wohl möglich, daß es sich um das Entsprechende zu meinem ersten Weidenzeitabschnitt handelt; es scheint mir aber wahrscheinlicher, daß im offenen großen Seebecken des Genfersees die Weide und die Birke (Zwergbirke!) sehr unterrepräsentiert sind, Pinus als Fernflugpollen und gut schwimmfähiger Pollen entsprechend überrepräsentiert ist. Eine ähnliche Deutung scheint mir auch fürs Kolbermoor am Platz, nur liegen die Verhältnisse infolge der möglicherweise fehlenden Birkenzeit auch sonst etwas anders. Jedenfalls wäre es verfrüht, aus derartigen spärlichen Hinweisen auf eine bestimmte Einwanderungsfolge und -richtung zu schließen.

Der Hippophaë-Abschnitt.

Der Abschnitt, der die waldfreie Weidenzeit vom Birkenwald trennt, ist in unsern Gegenden durch vorübergehend stark ansteigende und wieder abnehmende Hippophaë-Werte gekennzeichnet. L ü d i (1939, S. 471) weist einen gleichen kleinen Hippophaë-Gipfel am Genfersee nach. Nicht so gut lokalisiert, jedoch auch vorhanden ist Hippophaë am Federsee (F i r b a s, 1935, S. 8). O b e r d o r f e r (1937) hat ein gut lokalisiertes Hippophaë-Gipfelchen bei Urbis in den Südvogesen erhalten, aber auch schon am Schluchsee (O b e r d o r f e r, 1931).

Zur Zeit dieses Übergangsabschnittes steigt die absolute Pollenzahl schon mächtig an und sinkt das Nichtbaumpollenprozent ab, ohne freilich noch ganz niedrige Werte anzunehmen. Der Kalkgehalt ist im Ansteigen begriffen oder oft schon zu den Werten der Birkenzeit angestiegen. Der Abschnitt liegt deshalb schon ganz im Gebiet der Klimabesserung, die zum Birkenwald führt und wird darum wohl am besten als Initialphase des Birkenwaldes gedeutet. Es scheint mir, daß die Klimabesserung der Ausbreitung des Birkenwaldes deutlich vorausgeeilt ist und so dem Sanddorn, einer gut wanderungsfähigen Gebüschart, in der kon-

kurrenzarmen Tundra vorübergehend Massenausbreitung ermöglicht hat. Der bald folgende Birkenwald hat die Bestände des Sanddornes wieder vernichtet oder doch beschränkt.

Über die Wertung von Hippophaë in spätglazialen Schichten schreibt Firbas (1934, S. 132): «Der Sanddorn fehlt dem nördlichen Skandinavien, reicht in Norwegen nur bis 67° 56', an der Küste des Bottnischen Meerbusens sogar nur bis 65° 50' und steigt auch in den Alpen nur in die montane Stufe, im Wallis bis 1900 m. Aber sein ausgedehntes Verbreitungsgebiet in den zentralasiatischen Gebirgen und Hochländern einerseits, entlang der westeuropäischen und mediterranen Küsten andererseits läßt die außerordentlich weite ökologische Amplitude der Art erkennen.» Nilsson (1935, S. 481) andererseits schreibt: «Die wichtigste Voraussetzung für das Vorkommen von Hippophaë dürfte Konkurrenzlosigkeit sein.» Keller (1935, S. 44, 64) teilt mit, daß Hippophaë im frühen (?) Postglazial eine vermehrte Ausbreitung in den höhern Lagen zu verzeichnen hatte, während er heute auf die Rhoneebene als dem Hauptverbreitungsgebiet beschränkt sei; «nur in besonders günstigen Lagen steigt er bis 1600 m, so im Vispertal. Die fossilen Pollenbefunde, wenn sie auch aus tiefern Lagen stammen, zeugen für die postglaziale Wärmezeit. Sie deuten dazu noch an, daß in jenem Abschnitt noch kein geschlossener Wald bestanden hat.»

In dem dargelegten Sinne neige ich auch dazu, gehäuftes Einzelvorkommen von Hippophaë in der Kiefernzeit als Anzeichen einer etwas gelockerten Waldvegetation zu betrachten. Im Hippophaë-Abschnitt handelt es sich aber wohl um klimatisch bedingte Massenausbreitung ohne Konkurrenz.

IV. Die Artunterscheidung bei *Pinus* und *Betula* und die Zusammensetzung des späteiszeitlichen Waldes von Faulensee.

a) Einleitung.

Die pollendiagnostische Unterscheidung der Hauptarten von *Pinus* und *Betula* ist heute noch sehr umstritten. F u r r e r (1927) glaubt, *Pinus montana* (59—60 μ) und *Pinus Cembra* (70—71 μ) größenstatistisch genügend auseinanderhalten zu können. J e n t y s - S c a f e r (1928) hält dafür, daß die *Betula*-Arten fast nur durch Größenmessung zu unterscheiden sind (*Betula nana* in KOH 18,4 μ , *B. verrucosa* und *B. humilis* 21,4 μ , *B. pubescens* 23,9 μ), betont aber schon die Wichtigkeit des zur Untersuchung verwendeten Einschlußmittels. H ö r m a n n (1929) erwähnt, daß D o k t u r o w s k i und K u d r j a s c h o w für *Pinus silvestris* 48—65 μ , *P. montana* 60—70 μ angeben, P. S t a r k in guter Übereinstimmung damit für *P. silvestris* 55,7 μ , für *P. montana* 68 μ finde, daß dagegen R u d o l p h große Abweichungen feststelle (*P. silvestris* 67—73 μ , *P. montana* 64—94). H ö r m a n n glaubt, daß es sich hierbei um störende Quellungserscheinungen handeln könnte; er findet selbst folgende Mittel: *P. silvestris* 61 μ , *P. montana* 62—70 μ , *P. Cembra* 72 μ ; angesichts der sich stark überschneidenden Streuungsgebiete ist es von besonderer Wichtigkeit, daß sich die drei Arten in den Fällen typischer Ausbildung auf Grund von morphologischen Merkmalen einigermaßen unterscheiden lassen (es sei ausdrücklich auf H ö r m a n n verwiesen). L ü d i (1929) behandelt dieselbe Frage vor allem im Hinblick auf die Behauptung von G a m s, die Bergföhren der Unterart *uncinata* stellten Bastarde zwischen den niederliegenden *Pinus mugus* und *P. pumilio* einerseits und der Waldföhre anderseits dar. Er ergänzt die Zusammenstellung von H ö r m a n n mit der Unterart *P. rostrata*, die in unsern westlichen Alpen in Frage kommt: Mittelwert der Länge 67 μ , Extremschwankung 54—79 μ (*P. Cembra* 71,6 μ , Extremschwankung 57—85 μ). Im übrigen führt L ü d i an, daß sich nicht nur die Extremwerte, sondern sogar die Mittelwerte überschneiden können, indem der Phänotypus in Übereinstimmung mit klimatischen Faktoren sehr stark abändere. G e r a s i m o v (1930) beschreibt die Unterschiede von

Pinus Cembra und *P. silvestris*. J a e s c h k e (1935) findet eine derart hohe Abhängigkeit der Pollenlängen von *Pinus* vom Standort, vom Einbettungsmittel in der Natur und von der Behandlung, daß er jede Möglichkeit der variationsstatistischen Artdiagnose verneint. Trotzdem gilt im großen und ganzen, daß *Pinus silvestris* meist die kleinsten, *P. montana* mittlere, *P. Cembra* die größten Pollen aufweist bei sich weithin deckenden Streugebieten. (*P. silvestris* weist merkwürdig hohe Mittelwerte von mindestens 67 μ auf.) F. und J. F i r b a s (1935) geben nach Messungen an Material vom Federsee der Meinung Ausdruck, daß das die Pollen umschließende Medium einen so starken Einfluß auf die Größe ausübe, daß eine Unterscheidung durch Ausmessen bei *Pinus* und *Betula* ausgeschlossen ist.

Zahlreiche Arbeiten übernehmen die Ergebnisse dieser Untersuchungen, ziehen aber doch vielfach Wahrscheinlichkeitsschlüsse gestützt auf die Pollengrößen oder die morphologischen Pollenmerkmale.

Das Problem der Unterscheidung der drei Birken- und drei Kiefernarten muß jeden beschäftigen, der sich mit der spätglazialen Vegetationsentwicklung abgibt; die Wertung der scheinbar einfachen Pollenkurven ist bis heute noch ganz unsicher und zwingt den Pollenanalytiker, nach zuverlässigeren Hinweisen auf den herrschenden Vegetationscharakter in Begleitpollen, Stratigraphie usw. zu fahnden. Ich stützte mich bei meinen Untersuchungen zuerst auf die immerhin zahlreichen Anhaltspunkte, die besagen, daß sich die jeweils in Frage kommenden drei Arten in bezug auf ihre Größe merklich unterscheiden. Als feststehend mußte berücksichtigt werden, daß die physikalisch-chemischen Einflüsse der Fossilisation und der Präparation die wohl schon durch Wachstums- und Klimaeinflüsse variablen Mittelwerte jeder Art wesentlich und in ganz unbekannter Weise verändern, daß man also weder aus der Dimension eines Einzelpollens, noch aus dem Mittelwert zahlreicher Pollen eine Aussage über die Artzugehörigkeit machen kann. Folgende Überlegung versprach mir, das Problem der Lösung näher zu bringen: Es gibt in unsern Gegenden zahlreiche Spektren, die mit großer Wahrscheinlichkeit alle drei Arten aufweisen. Ein einzelnes dieser Spektren hat den Vorteil, daß die Pollen aller drei Arten unter ungefähr gleichen klimatischen Bedingungen gewachsen sind, den gleichen Ein-

flüssen der Fossilisation und der Präparation ausgesetzt waren und in gleicher Weise gemessen werden. Unter der Voraussetzung, daß sich die drei Arten unter den vorherrschenden klimatischen und edaphischen Einflüssen in ihrem Mittelwert stets um einen gleichsinnigen und deutlich feststellbaren Betrag unterscheiden, und daß diese Unterschiede durch spätere Einflüsse der Fossilisation und Präparation nicht wesentlich verwischt werden, darf man dann für die zu untersuchende Population eine dreigipflige Kurve erwarten, deren Gipfelhöhen einen Hinweis auf das relative Verhältnis der Arten abgibt. Für den zu erwartenden Fall des starken Zurücktretens oder gar Verschwindens einer Art taucht dann zwar sogleich die Frage nach der Zugehörigkeit der übriggebliebenen Arten (resp. Kurvengipfel) evtl. einer einzelnen übriggebliebenen Art auf. Sie soll auf Grund folgender Überlegung beantwortet werden: Stelle ich variationsstatistische Untersuchungen an aus sich eng aufeinanderfolgenden Zeiten (d. h. bei kleinem Probeabstand), so sind die Veränderungen von einem Variationsdiagramm zum andern so geringfügiger Art, daß die Änderungstendenzen selbst bei veränderten Mittelwerten herauszulesen sind. Dann läßt sich angeben, welche Art verschwunden ist resp. welche Arten übriggeblieben sind.

b) Betula.

Der soeben entwickelte Weg soll zuerst an *Betula* geprüft werden. Um Untersuchungen in kurzen Abständen zu ermöglichen, wähle ich das relativ schnell gewachsene Profil X des Faulenseemooses.

Der angegebene Weg der Diagnostizierung der *Betula*-Pollen verlangt eine ausgedehnte, zeitraubende Arbeit. Es sollten ja bei vielen dichtstehenden Proben genügend Einzelpollen ausgemessen werden. Der Probenabstand wird bei einigermaßen bewegtem Pollendiagramm besser nicht viel größer als bei der Pollenuntersuchung gewählt; bei wenig veränderlichem Pollendiagramm darf wohl eine gewisse Arbeitsökonomie mitsprechen und der Probenabstand vergrößert werden. Eine gewisse Unsicherheit in bezug auf das Einzelresultat wie in bezug auf die Parallelisation verschiedener Variationskurven muß damit in Kauf genommen werden. Nach meinen Untersuchungen scheint eine gemessene Pollenzahl von 100 Stück zu genügen und, falls man gewisse rechnerische Ausgleichs vornimmt, recht glatte Kurven zu ergeben. Ich maß bei 620facher Vergrößerung und mit einem Teilstrichwert des Okularmikrometers von 2,42 μ , schätzte Viertelteilstriche und rechnete mit $\frac{1}{2}$ μ -Intervallen. (Kontrollen

ganzer Proben mit dem Teilstrichwert $1,7 \mu$ ergaben übereinstimmende Variationsdiagramme). Bei diesem Verfahren der Schätzung und Rundung würden gewisse Klassen unterrepräsentiert erscheinen, falls man nicht rechnerisch ausgleiche. Dieses geschah durch Addition der Hälfte der Individuenzahlen der zwei benachbarten Klassen zu jeder Klasse. Auf- und Abrundung bei den Messungen ergaben freilich meist schon von selbst recht charakteristische und glatte Kurvenverläufe. Die Resultate sind im allgemeinen, wenn nicht Kurven konstruiert werden sollen oder können, schon bei 50 oder selbst bei 20 gemessenen Pollen imstande, ein ordentliches Näherungsbild der Pollenzahlen der drei Arten zu vermitteln. Das ist besonders wichtig bei der Untersuchung der pollenarmen früh-spätglazialen Schichten. Die in diesem Gebiet bei Profil X durchgeführten Messungen seien hier ausführlich wiedergegeben. Man erkennt ohne weiteres das Hervortreten gewisser bevorzugter Streugebiete.

| Tiefe | 15 μ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | total | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|---|---|---|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---------|
| 135 cm | — | — | 1 | — | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 4 | 7 | 7 | 6 | 11 | 7 | 7 | 7 | 11 | 11 | 4 | 2 | 1 | — | — | 1 | — | 100 Stk |
| 140 | — | — | 1 | — | — | 1 | 1 | 3 | 4 | 2 | 5 | 7 | 4 | 7 | 12 | 6 | 7 | 7 | 13 | 9 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | — | — | 100 |
| 145 | — | 1 | 2 | — | — | 1 | 3 | 6 | 10 | 12 | 8 | 9 | 8 | 5 | 9 | 6 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 1 | 1 | — | — | 1 | 100 |
| 150 | — | — | — | 1 | 1 | — | 1 | — | 1 | 1 | — | — | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | — | — | — | 1 | 1 | — | — | — | 18 |
| 160 | — | — | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 | — | 2 | — | — | 1 | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 10 |
| 165 | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | — | 1 | — | 1 | 2 | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 9 |
| 170 | — | — | — | — | — | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 1 | — | 2 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 18 |
| 175 | — | — | — | — | — | 2 | — | — | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | — | 1 | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 17 |
| 180 | — | — | — | — | — | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | — | 1 | 1 | 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | 25 |

In der Deutung der drei Gipfel einer Variationskurve als quantitativer Korrelativa der drei *Betula*-Arten wird man durch die Möglichkeit ganz wesentlich bestärkt, *Betula nana* in den meisten Fällen an morphologischen Merkmalen ziemlich sicher zu erkennen. Ihre Poren sind viel weniger vorragend, ihre Wand weniger stark, die Färbung meist ganz blaßgelb. (Wenn man nicht ganz klare Präparate hat, und wenn man mit kleinen Vergrößerungen sucht, können einem viele Zwergbirkenpollen entgehen!) So zählte ich unter 100 Pollen in 445 cm Tiefe 45 sichere *Betula nana*-Pollen, in 435 cm Tiefe jedoch nur 7 Stück. Ich versuchte sogar vereinzelt an Hand von Messungen morphologisch unterschiedener *Betula nana*-Pollen eine Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung und kam auf Werte von $18,8$ — $19,5 \mu$ für den Mittelwert und $1,2$ — $1,5 \mu$ für die Standardabweichung. Diese Anhaltspunkte sind wertvoll. Rein theoretisch ist nämlich daraus abzuleiten, daß sich die drei Kurvengipfel der drei betrachteten Arten bei den bekannten Mittelwertabständen kaum stören, nicht miteinander verschmelzen. Unter den auf diese Weise festgestellten Bedingungen ist eine näherungsweise Berechnung des prozentualen Artenverhältnisses aus den relativen Höhen der drei Kurvengipfel möglich.

Variationsstatistische Messungen an rezentem *Betula pubescens*-Pollen ergaben einen Mittelwert von $25,8 \mu$ und eine Standardabweichung von $2,1 \mu$ (bei eingipfliger, aber etwas schiefer Verteilung). Es ist verständlich, daß beim Auskochen von Blütenstaub aus frischen Pollenkätzchen die

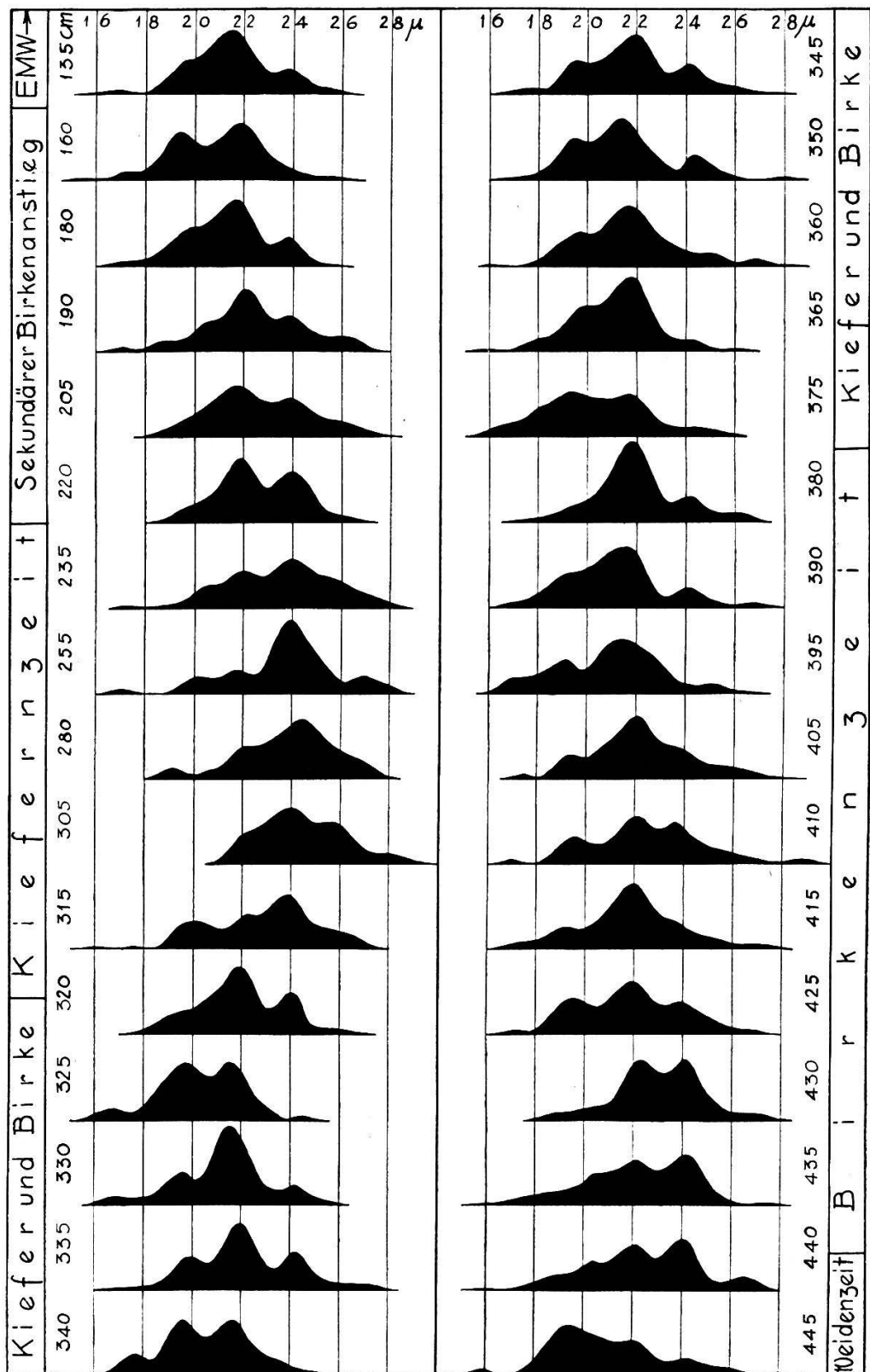


Abb. 17. Variationsdiagramme für die Größe der Birkenpollen, untersucht am spätglazialen Abschnitt des Profils X. Die Abbildung zeigt die zeitliche Veränderung der Anteile der Population.

Streuung infolge leerer Körner und besonders stark gequollener Zellen relativ groß ausfällt. Die Standardabweichung für eine normale Pollengröße von $19,2 \mu$ für *Betula nana* läßt sich an Hand dieses rezenten Materials schätzungsweise zu $1,56 \mu$ berechnen. Diese Zahl liegt zwar etwas über der obern Grenze der Streuungswerte fossilen Materials, bestätigt aber deren Größenordnung. Es scheint daher theoretisch gerechtfertigt, die Höhen der drei Kurvengipfel in erster Näherung als Maßzahlen des relativen Artenverhältnisses zu verwenden. Die durch diese Näherung begangenen Fehler sind derart, daß eher zu ausgeglichene Relativwerte als zu extreme Einzelwerte herausgelesen werden. Von geringer Sicherheit aber sind sehr kleine Prozentwerte, wenn sie nicht etwa an morphologischen Merkmalen verifiziert werden können.

Betrachten wir die Ergebnisse an Hand der Variationsdiagramme der Abbildung 17:

1. Die spätglazialen *Betula*-Pollen des Weiden-, Birken- und Kiefernzeitabschnittes von Faulensee variieren zwischen etwa 15 und 29μ . Auch die Kurven von Jentys-Scafer (1928) dehnen sich meist ca. 4μ über die S. 88 mitgeteilten Mittelwerte aus (also $14,4$ — 28μ).

2. Die durch Kurvengipfel gekennzeichneten Streuungsmittelgebiete der drei Arten verändern im Verlauf des ganzen Spätglazials ihre Lage nur ganz unwesentlich. Die Gipfelpunkte liegen bei meiner Behandlung wie folgt (Kalkbeseitigung durch Salzsäure, Aufkochen mit wenig Kalilauge, am Schluß kleiner Glyzerinzusatz):

| Nach meinen Ergebnissen: in KOH + Glycerin | | nach Jentys-Scafer: in KOH in Glycerin | |
|---|-------------------|---|------------|
| <i>Betula nana</i> | $19,2 - 20,0 \mu$ | $18,4 \mu$ | $21,7 \mu$ |
| „ <i>verrucosa</i> | $21,3 - 22,3$ | $21,4$ | $24,2$ |
| „ <i>pubescens</i> | $23,7 - 24,5$ | $23,9$ | $27,5$ |

Die Übereinstimmung ist äußerst gut. Die geringe Veränderlichkeit der Mittelwerte, die sich bei einigermaßen gleichmäßiger Vorbehandlung nie zu überschneiden scheinen, gibt uns die Möglichkeit in die Hand, aus einem einzelnen Variationsdiagramm, sei es drei-, zwei- oder nur eingipflig, den prozentualen Anteil jeder Art ziemlich zuverlässig herauszulesen. Ja, selbst von einer Einzelmessung kann auf Grund ihrer Stellung zu den Mittelwerten die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zur einen oder andern Art angegeben werden.

Die eben angedeutete Methode ist im Profil XII (Abb. 16) vor der Durchführung der vorliegenden Untersuchungen zur Unterscheidung der drei *Betula*-Arten angewandt worden. Für bloß 20—50 Pollen wurden die Wahrscheinlichkeiten der Artzugehörigkeit in Zehnteln für jedes Korn notiert; am Schluß wurden die Wahrscheinlichkeiten addiert; die wahrscheinlichen Pollensummen wurden noch quadriert (da ja die wahrscheinliche Artzugehörigkeit des Einzelpollens nicht nur von der Stellung in der Größenskala abhängt, sondern auch von der relativen Vertretung jeder einzelnen Art); die so erhaltenen Maßzahlen wurden in Prozente umgerechnet. Die relative Unveränderlichkeit der Mittelwertlage der drei Arten gibt dieser Zuteilung auf Grund von Wahrscheinlichkeiten erst die notwendige methodische Stütze. Es ist nun aber auch nicht verwunderlich, daß die Ergebnisse dieser einfachern Methode mit denen einer verfeinerten Untersuchung in den großen Zügen völlig übereinstimmen. (Man beachte beim Vergleich, daß im Profil XII die Prozente der einzelnen Arten summiert, in Profil X einzeln von Null aus aufgetragen sind.)

3. Die drei Birkenarten im Spätglazial des Faulensees:

aa) Die Weidenzeit ist gekennzeichnet durch dominierende *Betula nana*. Die Dominanz ist aber keine absolute. Die beiden andern Birkenarten sind mehr oder weniger regelmäßig im dritten hier unterschiedenen Weidenzeitabschnitt gefunden worden. Teilweise mag es sich bei den Großbirkenpollen um Ferntransportpollen handeln; das zeitweise stärkere Auftreten macht aber ein Vorhandensein in der Gegend wahrscheinlich. Es ist bezeichnend, daß auch die am meisten Wärme liebende der drei Arten wohl in der Gegend wuchs. Die Einwanderung der Großbirken muß wohl in den zweiten Weidenzeitabschnitt gelegt werden, spätestens an dessen Ende. Der Beginn der Birkenzeit, die Entstehung des eigentlichen Birkenwaldes, ist deshalb nicht wanderungsgeschichtlich, sondern klimageschichtlich bedingt.

bb) Die Initialphase der Birkenzeit (zur Hauptsache der früher besprochene Sanddornabschnitt) zeigt einen prachtvoll eindeutigen Artenwechsel unter den Birken: Auf die dominierende *Betula nana* mit wenig Großbirken folgen dominierende Großbirken mit wenig *Betula nana*, und zwar anfangs vor allem *Betula pubescens*, vom eigentlichen ersten Gipfelpunkt der Birke an aber stark dominierend *Betula verrucosa*. An Hand der heutigen Anschauungen über die ökologischen Ansprüche der beiden Großbirkenarten, die sich auf das Überwiegen von *Betula pubescens* im Norden und ihre größere Höhenverbreitung in den Alpen stützen, läßt sich wohl eine Klimabesserung als Ursache die-

ses Artenwechsels kaum von der Hand weisen.

cc) Die Zeit des Kiefern-Birken-Mischwaldes zeigt meist *Betula verrucosa* in ausgesprochener Dominanz, genau so wie der Hauptabschnitt der Birkenzeit. Vom Standpunkt der Birke aus gesehen, darf man also die Kiefernausbreitung nicht einem wesentlichen Klimawechsel zuschreiben, eher einer gleichsinnigen Weiterentwicklung des Klimas, vielleicht in der Richtung nach einem wärmeren Klima, vielleicht auch nur in der Richtung auf ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge. Auffällig ist die stärkere Vertretung von *Betula nana* in diesem Abschnitt; trägt man aber die Prozente der Zwergbirke nicht für sich auf, sondern im Rahmen des ganzen Pollendiagramms, so erkennt man im Kiefern-Birken-Abschnitt eine deutliche Abnahme, die freilich durch die zum Teil gesteigerte Pollenfrequenz wieder wettgemacht wird. Der prozentual stärkere Rückgang der Großbirken erklärt sich wohl aus ihrer Verdrängung durch die Kiefer, während gleichzeitig die Zwergbirke, zumal in der Nähe des Wassers, vom Dominanzwechsel in der Baumschicht noch kaum beeinflusst wurde.

Der wechselvolle Kurvenverlauf dieses Abschnittes hat schon F. B e r t s c h (1932) zu Schlüssen auf starke Klimaänderungen geführt, denen allerdings von F i r b a s (1934) widersprochen wurde. Ohne auf eine mögliche zeitliche Parallelisation einzutreten, stellt sich auch für unsere Schwankungen die Frage nach der Weite der entsprechenden klimatischen Schwankungen (der ausgeprägte und in unsern Gegenden nicht vereinzelt Kurvenverlauf schließt die Wertung als Zufallsprodukt aus). Schwach ausgeprägt, doch immerhin merklich steigt in den Birkengipfeln der Anteil von *Betula pubescens* jeweils etwas an, während in den Kieferngipfeln derjenige von *Betula verrucosa* höher ist. Vor diesen schwachen Artprozentänderungen darf man zwar die ausgeprägten Birken- und Kieferngipfel im Pollendiagramm (Abb. 14) nicht unbeachtet lassen. Sie deuten, unterstützt durch die Ergebnisse der Artuntersuchung, auf gewisse Klimarückschläge. Doch entsprechen deren Amplituden bloß etwa den Änderungen vom Ende der Birkenzeit zum Beginn der Kiefernzeit und sind mit stadialen Schwankungen kaum in Beziehung zu setzen, da vorher und nachher viel einschneidendere Artverschiebungen stattfinden, gegen die der vorliegende Diagrammabschnitt mit seiner domi-

nanten *Betula verrucosa* und seiner hohen Pollenfrequenz als Ganzes betrachtet einer klimatisch günstigen Zeit entspricht.

dd) Ein äußerst scharfer Einschnitt findet sich beim Übergang vom Birken-Kiefern-Mischwald zur reinen Kiefernzeit. Zur Auf-
findung des Wendepunkts mußten die Probenabstände minimal
gewählt werden: im Profil X liegt er zwischen 320 und 315 cm,
also im letzten ausklingenden Ast der Birkenherrschaft. Hier
schließt eine lange Zeit der Vorherrschaft von *Betula verrucosa*
ab und beginnt eine ebensolange der Vorherrschaft von *Betula*
pubescens. Es ist festzuhalten, daß nicht der Birkengipfel bei
335 cm den Wendepunkt darstellt, daß im Gegenteil der Birken-
abstieg einen günstigeren klimatischen Abschnitt darstellt mit
vermehrter *Betula verrucosa*, mit einem Kiefernanstieg wie schon
bei 365 cm und bei 345 cm, mit vermehrter, sogar sehr starker
Pollenproduktion. Der erste Anstieg zur reinen Kiefernzeit ge-
hört also in jeder Beziehung noch ins Birken-Kiefern-Mischwald-
gebiet. Darauf aber erfolgt etwas Unerwartetes: scharfes Zurück-
gehen der Birke; Herausbildung fast reiner Kiefernbestände; die
übrigbleibende Birke ist zur Hauptsache *Betula pubescens*; die
Pollenfrequenz sinkt stark ab; die Kräuterpollen nehmen relativ
zu; in den Tiefenprofilen geht die Sedimentation organischen Ma-
terials zurück, während diejenige von Seekreide schon etwas frü-
her spärlich geworden ist. Diese Beobachtung unterstreicht nur
das bei Profil X, S. 61 und 65 Erwähnte.

ee) Der sekundäre Birkenanstieg hebt sich durch seinen schö-
nen Dominanzwechsel von *Betula pubescens* zu *B. verrucosa* her-
aus (man vergleiche in Abb. 17 die Variationsdiagramme für
255 cm und höher). Es stellt sich damit ganz offensichtlich der
Zustand zur Zeit des Birken-Kiefern-Mischwaldes wieder ein: ein
klimatisch günstigerer, in der Feuchtigkeit ausgeglichenerer (wohl
auch trockenerer) und wärmerer Abschnitt. Es handelt sich trotz
der Birkenzunahme nicht um einen nordischen *Betula pubescens*-
Pinus-Mischwald, sondern um die Zurückdrängung des Nadel-
holzes durch Laubholz, das bald durch einwandernde EMW-Arten
unterstützt und ersetzt wird. Der Rückgang der Birke und das
letzte Aufflackern von *Betula nana* um 160 cm macht freilich in
Profil X den Eindruck, als ob der sekundäre Birkenanstieg von
der EMW-Zeit durch einen kurzdauernden Klimarückschlag ge-
trennt wäre. Ein Dominanzwechsel der Kiefern, etwa von *Pinus*

montana zu *Pinus silvestris*, vermöchte freilich Ähnliches hervorzubringen.

Am Schluß der Betrachtung über die spätglaziale Birkenartenvertretung sei noch auf die Möglichkeit der Bastardierung der beiden Großbirken hingewiesen. Sie scheint auf den ersten Blick das Problem der Artunterscheidung der Birken hoffnungslos kompliziert zu gestalten. Dem widersprechen die vorgebrachten Ergebnisse: die beiden Arten variieren recht gelenkig, scheinbar unabhängig. Man könnte zur Erklärung die nicht leicht zu beweisende Annahme machen, daß die beiden Arten damals nicht bastardiert waren. Doch ist eine solche Annahme nicht nötig: eine Population von Bastarden erzeugt durch Herausmenden stets wieder die Elternarten. Bei Klimaänderungen mag die eine reine Art zurückgedrängt oder die andere gefördert werden; dadurch wird innerhalb der ganzen Population der relative Anteil des Pollens und der Samenanlagen der einen Art größer; für die weitere Entwicklung besitzt dann die eine Art in der Konkurrenz mehr arteigene Fortpflanzungseinheiten. So vermag eine Population von Bastarden auf Klimaänderungen so gut zu reagieren wie reine Arten. Eine Frage wäre zwar in diesem Zusammenhang noch abzuklären: Nehmen die Pollenkörner eines Bastards, die durch die Reduktionsteilung haploid geworden sind, sogleich die größtenstatistischen Eigenschaften an, die ihrer Chromosomengarnitur entsprechen, oder behalten sie, vielleicht auf Grund der Plasmaeigenschaften, eine intermediäre oder einseitig-dominante Ausbildung? Falls zur Zeit, aus der mein fossiles Material stammt, Bastarde häufig waren, läßt sich aus den mitgeteilten Messungen schließen, daß wesentliche Mengen mit intermediärer Ausbildung nicht vorkommen. Es scheint mir wahrscheinlicher, daß schon die Pollenkörner die ihrem Chromosomensatz zukommenden Eigenschaften zeigen.

c) *Pinus*.

Nach den bisherigen Untersuchungen zu schließen, war es sehr fraglich, ob das Problem der Artunterscheidung der *Pinus*-Arten auf ähnliche Weise wie bei *Betula* lösbar wäre. Jedenfalls darf man hier nicht an das Problem der Unterscheidung fossilen *Pinus*-Pollens herantreten, ohne sich vorher mit der Unterscheidung rezenten Pollens auseinandergesetzt zu haben.

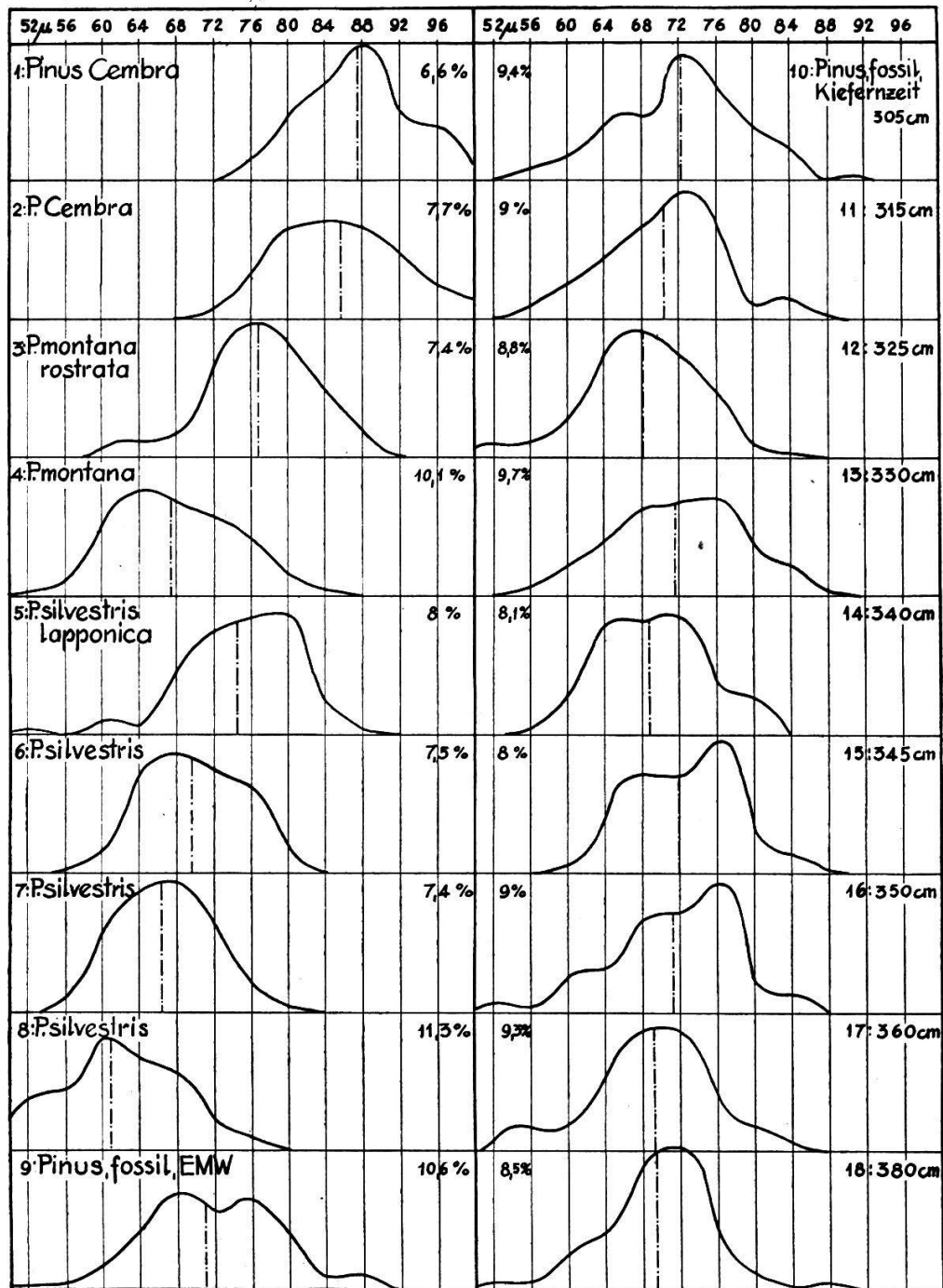


Abb. 18. Variationsdiagramme für die Größe der Kiefernpollen. Nr. 1—8: Messungen an rezentem Material, Nr. 1 von der Busenalp (Lauterbrunnental), Nr. 2 von der Staffelalp, 2200 m, ob Zermatt, Nr. 3 aus den Pyrenäen (Cirque de Gavarnie, 1600 m), Nr. 4 aufrechte Sumpfföhre vom Egelsee im Nidersimmental, Nr. 5 aus Vesterbotten, Schweden, Nr. 6 vom Isteinerklotz, Nr. 7 *P. silvestris*, var. *erythantha* aus Dünenwäldungen bei Swinemünde, Nr. 8 aus Spiez (Spiezberg), Nr. 9 aus Profil XI, 1235 cm, EMW-Zeit, Nr. 10—18 aus Profil X. Die Zahlen in der Mitte sind die Variabilitätskoeffizienten (Standardabweichung in % des Mittelwertes).

Die Möglichkeit der Artunterscheidung beruht auf dem Vorhandensein von

1. morphologischen Unterschieden,
2. variationsstatistisch verwertbaren Unterschieden,
3. Differentialreaktionen auf Grund submikroskopischer physikalischer und chemischer Unterschiede.

Die letzte Gruppe von Unterschieden ist noch kaum geprüft worden; es sind aber einige Anhaltspunkte dafür da, daß das Quellen in Kalilauge die einzelnen Arten etwas verschieden beeinflußt, so z. B., daß sich die größern Arten variationsstatistisch besser von den kleinern abheben. Eigene Beobachtungen und diejenigen J a e s c h k e s (1935) deuten z. T. darauf hin. Es ist auch nicht ausgeschlossen, daß ein abweichender Bau der Pollenmembranen ein adsorptiv verschiedenes Verhalten gegenüber Einlagerungsstoffen bestimmt.

An variationsstatistisch verwertbaren Unterschieden ist vor allem die größte Länge geprüft worden. Länge und Breite oder Höhe der Zelle und die Dimensionen der Luftsäcke scheinen nach eigenen und nach frühern Beobachtungen keine brauchbaren Vergleichszahlen zu liefern, auch dann nicht, wenn gewisse Quotienten oder Produkte gebildet werden. Diese Größen haben überdies den Nachteil, durch Deformation bis zur Unbrauchbarkeit zu variieren. Wachstums-, Einbettungs- und Quellungs-Deformationen beeinflussen übrigens auch die größte Länge stark. So fallen einem bei allen Messungen stets wieder Pollen auf mit kleiner Zelle, mit relativ eng aneinanderschließenden Luftsäcken (besonders bei Körnern in Rückenlage), mit in die Breite gezogenen Luftsäcken, von wirklich verletzten Körnern gar nicht zu sprechen. Man wird sich deshalb nicht verwundern, wenn die Variationskurven für Pinus-Pollen auch bei Klassenbreiten von $4\ \mu$ wellig und oft einseitig aussehen.

Verschiedene Variationsdiagramme rezenten Pinus-Pollens wurden aufgenommen und in Abb. 18 dargestellt. Das Material für die Messungen wurde mir in zuvorkommender Weise von Herrn Dr. L ü d i zur Verfügung gestellt, wofür ihm auch an dieser Stelle herzlich gedankt sei. Die zwei ersten Diagramme zeigen, daß *P. Cembra* sehr große Pollen aufweist, die in Kalilauge (10 % vor Kochbeginn!) kurz aufgekocht z. T. Werte über $85\ \mu$ oder

gar $100\ \mu$ erreichen; kein Wert lag unter $72\ \mu$; die Mittelwerte lagen bei $86\ \mu$, also noch höher als die höchsten Werte Jaeschkes (1935). Auffällig ist die abweichende Kurvenform von den beiden Standorten. Es ist nicht zu bezweifeln, daß an ungünstigeren Standorten, vielleicht auch in ungünstigen Blühjahren, das Mittel tiefer liegen kann; im allgemeinen ist es aber unwahrscheinlich, daß bei KOH-Behandlung der Mittelwert wesentlich unter ca. $78\ \mu$ sinkt. Auch in diesem Fall eines tiefen Mittelwertes sind dann stets einzelne Pollen einer Länge von über 85 und $90\ \mu$ zu erwarten, da die Standardabweichung $5\text{--}6\ \mu$ ausmacht. Deshalb wird man beim Vorkommen eines Kurvengipfels bei $80\text{--}85\ \mu$ im Variationsdiagramm und beim Vorhandensein von sehr großen Einzelpollen von über $90\ \mu$ Länge variationsstatistisch *Pinus Cembra* vermuten.

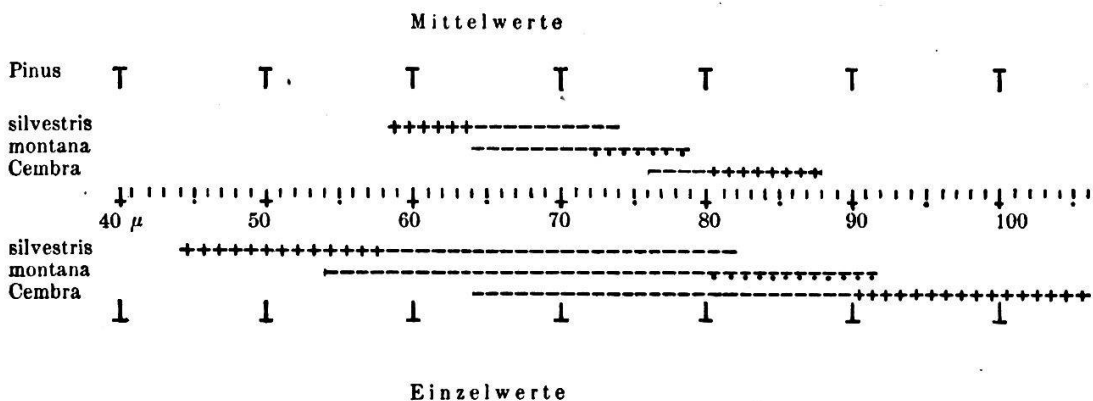
Ungefähr diese Auffassung vertritt Sarnthein (1940), wenn er S. 447 schreibt: «Unter den Pinus-Pollen sind jedoch häufig solche von größerem Ausmaß von $90\text{--}115\ \mu$, die auch nach ihrem übrigen Habitus als Pollen der Zirbe angesprochen werden müssen.»

In Abb. 18 zeigen die zwei nächsten Pollendiagramme, wie verschiedenartig die Mittelgruppe der Unterarten von *P. montana* ausfallen kann. Da gerade in unsern Gegenden infolge Bastardierung *P. montana* nicht nur ein Sorgenkind der Pollenanalytiker, sondern auch der Floristen ist, wird man sich damit begnügen, bei der Beurteilung die morphologischen Verhältnisse heranzuziehen. Immerhin sind da, wo *P. montana* ssp. *rostrata* zu erwarten ist, die Mittelwerte relativ sehr hoch (bei KOH-Behandlung bis gegen $80\ \mu$); auch sind vereinzelt *P. rostrata*-Pollen von bis oder über $90\ \mu$ Länge bei KOH-Behandlung möglich. Im westlichen Durchdringungsgebiet von *P. Cembra* und *P. montana rostrata* ist der rein variationsstatistische Nachweis der einen Art selten ganz sicher zu erbringen. Falls die bei uns häufigste Unterart *rotundata* vorliegt, sollte aber die Variationsstatistik das Unterscheidungskriterium liefern können, übersteigen dann doch auch bei KOH-Behandlung die *rotundata*-Mittelwerte kaum $72\ \mu$ und Einzelwerte nicht mehr $90\ \mu$. Im Gebiet, wo die östliche Unterart *mugus* zu erwarten ist, dürfte die variationsstatistische Abgrenzung ge-

gen *P. Cembra* wiederum schwer sein. [Vgl. für die östlichen Unterarten Hörmann (1929) und Lüdi (1929).]

Besonders wichtig wäre eine zuverlässige Abtrennung von *Pinus silvestris* von den übrigen Arten. Die Waldföhre weist, wie die Variationsdiagramme 5—8 in Abb. 18 zeigen, die kleinsten Pollen auf, doch finden sich, z. B. in der nordischen Unterart *lapponica*, systematische Gruppen und vielleicht Standortmodifikationen, die in den Größenbereich der *Pinus montana rostrata* hineinreichen. Variationsstatistisch einigermaßen sicher erkennbar scheint mir darum *P. silvestris* nur, wenn ihr Mittelwert unter ca. 63μ liegt, und wenn wesentliche Teile des Diagramms unter ca. 58μ liegen (KOH-Behandlung).

Zusammenfassend und unter Verwendung von Ergebnissen der genannten Autoren seien die Wahrscheinlichkeitsschlüsse auf Grund variationsstatistischer Untersuchungen bei Verwendung von KOH als Aufbereitungsmittel in folgendem Schema versuchsweise festgehalten:



Erklärung: Die Länge der Linien gibt den Streubereich wieder; die mit + gekennzeichneten Gebiete sind die für einen variationsstatistischen Nachweis wertvollen Gebiete; die mit - bezeichneten Abschnitte gelten als Kriterien für die Anwesenheit von *P. montana* bei völliger Abwesenheit von *P. Cembra*. (Voraussetzung für die Anwendung bleibt die Bedingung, daß keine neuen Unterarten und Lokalrassen vorliegen.)

Bei der Anwendung dieser gewiß noch nicht endgültigen Erkenntnisse auf Populationen völlig unbekannter Zusammensetzung muß man zuerst von der Streuung der Einzelwerte ausgehen, um so, wenn möglich, einzelne Arten festzustellen oder auszuschließen,

weil der Mittelwert bei Anwesenheit von mehr als einer Art nicht mehr typisch ist.

Um einen Einblick in die Variabilität fossilen Pinus-Pollens zu erhalten, wurde der auch sonst wichtige und interessante Abschnitt des Übergangs von der Birken- zur Kiefernzeit genauer untersucht und in Abb. 18 in den Diagrammen 10—18 wiedergegeben. (Dazu ein Diagramm 9 aus der EMW-Zeit.) In Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse läßt sich den Diagrammen mit gro- ßer Wahrscheinlichkeit entnehmen,

1. daß die Arve in Faulensee in der untersuchten Epoche nie auch nur eine untergeordnete Rolle gespielt hat (kein Einzelwert über 90 μ),
2. daß die Waldföhre in Faulensee in den Proben aus 380, 360, 350 und 325 cm Tiefe vertreten war (vielfach normale Einzelpollen unter 58 μ), (bei den andern läßt sich über An- oder Abwesenheit nichts aussagen),
3. daß in allen untersuchten Proben die Bergföhre auftritt (bei Abwesenheit von *P. Cembra* relativ viele Einzelwerte zwischen 80 und 90 μ).

Die Häufigkeit dieser hohen Werte reiht sich sinnvoll ins Pollendiagramm ein. Der relative Anteil der Pollen von 80 und mehr μ an der Gesamtpollensumme beträgt:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tiefe | 380 | 360 | 350 | 345 | 340 | 335 | 330 | 325 | 315 | 305 | EMW |
| % | 3 | 4 | 7 | 10 | 1 | 8 | 11 | 4 | 7 | 11 | 12 |

Die Variationsstatistik weist also mit aller Wahrscheinlichkeit nach, daß in der Übergangszeit Birke-Kiefer, Wald- und Bergföhre von Anfang an zusammen in Faulensee vorkamen. Sie vermag aber noch mehr: sie vermittelt ein ungefähres Bild vom relativen Anteil der beiden Arten. Jede Mittelwertschwankung innerhalb dieser Zeit kann leider durch Änderung der Zusammensetzung oder durch Änderung des Klimas verursacht sein; deshalb scheiden Mittelwertschwankungen als Kriterium für diesen Zweck aus. Darauf hat L ü d i schon 1929 aufmerksam gemacht und andere seither mehrfach. Wenn man aber in den Diagrammen die Verlagerung der Klassenmächtigkeiten näher ins Auge faßt, so kann man sich der Feststellung gewisser Tendenzen nicht verschließen: Die mächtigeren Klassen gehen von 380—345 cm nach rechts; bei 340 cm erfolgt eine Rückverlagerung, bei 335 und 330 cm abermals ein leichter Vorstoß nach rechts, bei 325 cm

ein kräftiger Stoß nach links, und schon bei 315 cm verlagert sich die Individuenmasse wieder stark nach rechts, um bei 305 cm dort zu bleiben. Die aus den Diagrammen deutlich erkennbaren Kurven-Schiefheiten sprechen gegen eine klimatische Deutung der Verschiebungen; denn, wie wäre es zu verstehen, daß bei größerer Pollenlänge, also besserem Klima, ausgerechnet der linke Kurvenast der individuenreichere, bei verkleinerten Pollenlängen, also schlechterem Klima, gerade der rechte Kurvenast der individuenreichere ist? Das ist doch wohl nur aus dem Vorhandensein und mengenmäßigen Variieren zweier Komponenten in der vorhandenen Pinus-Masse erklärlich. Alle bisherige Erfahrung und die soeben aufgeführte Tabelle sprechen dafür, daß die größere Komponente *Pinus montana*, die kleinere *Pinus silvestris* darstellt. Die Entscheidung über die Anwesenheit mehrerer systematischer Untereinheiten kann hier natürlich nicht gefällt werden.

Auf Grund dieser Betrachtungen ergibt sich für den Übergangsabschnitt von der Birken- zur Kiefernzeit folgende Entwicklung: Zur Zeit des ersten Kiefernanstieges war es in Faulensee die Waldkiefer, die in die Birkenwälder eindrang; sie war in ziemlichem Maße von der Bergkiefer unterstützt. In der Zeit des ersten Birkenvorstoßes wird der Anteil der Waldkiefer von demjenigen der Bergkiefer erreicht oder gar überflügelt, wohl infolge einer Klimaverschlechterung. Im zweiten Kiefernvorstoß gewinnt die Waldkiefer wiederum an Macht, geht dann aber im zweiten Birkenvorstoß abermals zurück. Der dritte und endgültige Kiefernanstieg bedeutet auch hier wieder ein günstiges Klima; denn die Waldkiefer dominiert (325 cm). Zwischen dieser und der nächsten Probe (315 cm) findet ein kräftiger Klimarückschlag statt, der zur Dominanz der Bergkiefer führt.

Durchwegs scheint die Kiefernumschichtung der Birkenentwicklung etwas nachzuhinken; diese Erscheinung darf vielleicht dahin ausgelegt werden, daß die fraglichen Vorstöße und Rückschläge von nicht sehr langer Dauer waren und nur ganz wenige Baumgenerationen umfaßten.

Es ist auffällig, in welcher guten Übereinstimmung die Kiefernentwicklung mit derjenigen der Birke verläuft. Es fällt aber auch auf, daß die Kiefern eher intensiver reagieren als die Birken. Bei den Birken dominiert *Betula verrucosa* ständig, während es bei

den Kiefern zu eigentlichen Dominanzwechseln kommt. Es ist wohl denkbar, daß die Schwellenwerte für die beste Entwicklung anders liegen. Hier aber dürfte ein anderer Umstand mitsprechen: die Waldkiefer ist eine ausgesprochene Lichtholzart und ihre Verjüngung ist auch bei mäßigem Schirm fast unmöglich; die Bergkiefer hingegen erträgt den lichten Schirm von Birken sehr gut. In Zeiten stärkerer Birkenausbreitung muß deshalb aus Konkurrenzgründen die Waldföhre ins Hintertreffen kommen. Man muß wohl einen guten Teil der starken Artenverschiebung bei den Kiefern diesem Umstande und nicht einschneidenden klimatischen Änderungen zuschreiben. Umso größere Bedeutung kommt dann dem scharfen Überhandnehmen der Bergkiefer bei 315 cm bei fast völlig verschwindender Birke zu; hier ist vorläufig an etwas anderes als einen bedeutenden Klimarückschlag nicht zu denken.

Die Abhängigkeit der Kiefernartenvertretung vom Deckungsgrad der Birken dürfte der Schlüssel sein zu dem oben erwähnten Nachhinken der Kiefernentwicklung. Diese Erklärungsweise spricht aber nicht gegen einen relativ raschen Entwicklungsablauf. Andererseits spricht dieses Nachhinken stark für die Richtigkeit der angegebenen Deutung: die Birke mußte sich erst stärker ausgebreitet haben, bevor die Waldföhre zurücktreten konnte, und die Birke mußte zuerst zurückgewichen sein, bevor sich in freier Konkurrenz die Waldföhre gegenüber der Bergföhre breitmachen konnte.

Die Tatsache, daß bei jeder Lichtung des Birkenwaldes gerade die Waldföhre und nicht die Bergföhre die Oberhand gewinnt, spricht sehr für ein nicht zu kaltes und ein ausgeglichenes Klima des Übergangsabschnittes Birke-Kiefer. Die immerhin starke Vertretung der Bergföhre dürfte mit ihrer Eignung als Pionier des sich bildenden Waldes in Zusammenhang gebracht werden und dürfte nicht allein auf klimatischen Voraussetzungen beruhen. Doppelt auffällig und wohl nur klimatisch bedingt ist in der Kiefernzeit das Überhandnehmen der Bergföhre.

Zum Schluß sei auf die von Hörmann (1929) genauer beschriebenen morphologischen Unterschiede eingegangen. Auf die Arbeit sei ausdrücklich verwiesen. Doch seien hier die Hauptunterschiede in knapper Übersicht zusammengestellt:

| Merkmal | <i>P. silvestris</i> | <i>P. montana</i> | <i>P. Cembra</i> |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Gestalt d. Korns u. d. Luftsäcke | halbkugelig mit breiter Ansatz- fläche | fast kugelig | langgestreckt; etwas über halb- kugelig mit breiter Ansatzfläche |
| Kornoberfläche | sehr fein punk- tiert, 10—12 Punkte auf 10 μ | hirnartig ge- zeichnet, \pm grob 8—9 Rillen auf 10 μ | punktiert bis hir- artig, zlh. grob, 9—10 Punkte auf 10 μ |
| Luftsack- oberfläche | Felderung 2—4 μ weit, ohne Unter- teilung | große Felder, 3—8 μ , unterteilt in 1—2 μ -Felder (sek. Felderung) | wie <i>P. montana</i> , doch viele große Felder ungeteilt |
| Kamm (Rücken) | schmal, zlh. glatt | breit, oft zackig | schmal, glatt |

Nach meinen Erfahrungen muß man bei der Beurteilung des einzelnen Korns stets alle Merkmale im Auge behalten (wie bei andern systematischen Untersuchungen). Die genannten Merkmale sind nur vergleichend zu verstehen und ändern oft etwas ab. So ist die halbkugelige Gestalt der Luftsäcke bei *P. silvestris* meist recht deutlich; doch muß man die Körner stets in Seitenlage bringen, wenn man nicht fehlgehen will; mehrfach finden sich dann am Grunde der Luftsäcke Abrundungen, die die halbkugelige Gestalt etwas verwischen und eine genauere Betrachtung der übrigen Merkmale verlangen. Bei *P. montana* sind die fast kugeligen Luftsäcke in Seitenlage meist sauber abgesetzt; es kommt aber auch vor, daß sie recht breit angewachsen sind. Während die Luftsäcke bei beiden Arten etwas genähert sind, besonders bei *P. montana*, stehen sie bei *P. Cembra* weit ab. Große *P. silvestris* und kleine *P. Cembra* sind in der Form allerdings zu verwechseln.

Als Merkmal ersten Ranges scheint mir die Felderung der Luftsäcke beachtenswert. Es ist aber ein minutiöses Merkmal. Man dürfte im allgemeinen bei guter Beleuchtung mit starken Vergrößerungen ohne Immersion auskommen (nicht zu stark abblenden!). Unbedingt nötig ist es, das Korn von der Bauchseite oder den einzelnen Luftsack von vorn (in der Richtung seiner

Hauptachse) zu betrachten, nicht aber von innen oder in den randlichen Partien. Dann erkennt man meistens bei *P. silvestris* ein unregelmäßiges feinmaschiges Netz. Die Felder können den von Hörmann angegebenen Größenbereich etwas überschreiten; sie sind im Innern ziemlich glatt und weisen kaum eine störende Zeichnung auf. Das Netz ist nicht immer ganz zusammenhängend; einzelne Leistchen stehen frei vor. Im typischen Fall ganz anders ist es bei *P. montana* und *P. Cembra*: sparrig verzweigte Leistchen überwuchern die ganze Oberfläche des Luftsacks, schließen oft zu allseitig begrenzten Feldern zusammen, ragen aber oft frei in die Flächen hinaus; dabei entstehen Felder recht verschiedener Größe (primäre Felderung); besonders in größeren Feldern erkennt man bei genauerer Betrachtung eine feine Unterteilung, die bei geeigneter Beleuchtung sofort wie ein feines, unter dem gröbern liegendes Netzchen auffällt und der Luftsackoberfläche etwas Unruhiges, aber Charakteristisches gibt (sekundäre Felderung). Leider ist der Bau der primären Felderung nicht immer so großzügig unregelmäßig. Die größeren Felder und die frei vorragenden Leistchen können spärlicher auftreten; schon dadurch wird die sekundäre Felderung weniger deutlich; so kann sich das Aussehen leicht demjenigen einer einfachen Felderung, wie bei *P. silvestris*, nähern und bei schwächerer Vergrößerung und schlechtem mikroskopischem Auflösungsvermögen den Eindruck der Kleinfeldrigkeit erzeugen. Die randlichen Partien des Luftsacks sind besonders stark in dieser Richtung gebaut und darum für die Bestimmung ungeeignet. Ausnahmsweise kommt es vor, daß die Leistchen der primären Felderung kaum geschlossene Felder abgrenzen, sondern eher hirntartig gewunden aussehen. Während die Luftsackzeichnung zur Unterscheidung von *P. silvestris* und *montana* recht tauglich ist, ist sie es weniger zu derjenigen von *P. montana* und *Cembra*: die sekundäre Felderung ist auch bei *P. montana* nicht immer in allen Feldern in die Augen springend, und die primäre Felderung ist bei *P. Cembra* oft bedenklich kleinflächig.

Der Kamm oder Rücken der Pollenkornzelle ist bei *P. silvestris* meist dünn und glatt, kann aber ordentlich dick und etwas rauh sein. Umgekehrt ist der normalerweise auffällig dicke und stark gewellte bis zackige Kamm von *P. montana* recht häufig von mittlerer Dicke und noch häufiger ziemlich glatt. Bei *P. Cembra* kom-

men neben typischen, dünnen und glatten Kämme hie und da ordentlich dicke und rauh wellige Kämme vor; sehr rauh bis zackig kann die Zellenaußenwand besonders auch in Bauch- oder Rückenlage aussehen, ein Umstand, der die Abgrenzung gegen *P. montana* abermals erschwert.

Das Merkmal der punktartigen oder hirntartigen Zeichnung der Kornoberfläche scheint mir für die Artunterscheidung von geringerem Wert, zumal ich auch *P. silvestris* mit hirntartiger Zeichnung gesehen habe. Es mag hie und da zur Bekräftigung einer Bestimmung herangezogen werden.

Als morphologisches Merkmal von nicht geringer Bedeutung bei der Bestimmung ist natürlich auch die Größe des Pollenkorns aufzuführen, besonders zur Unterscheidung von *P. Cembra*. Dagegen darf man ein einzelnes kleines Pollenkorn nicht unbesehen als *P. silvestris* ansprechen. Im mittlern und weitaus häufigsten Größenbereich ist freilich mit einer einzelnen Größenmessung nichts anzufangen.

Die Artbestimmung auf Grund morphologischer Merkmale muß trotz den vorhandenen Schwierigkeiten in Anbetracht des teilweisen Versagens der Variationsstatistik versucht werden. Man darf sich aber nicht verwundern, daß ein Teil der Pollenkörner trotz normaler Ausbildung als unbestimmbar ausscheiden muß, wenn man dem subjektiven Ermessen des Untersuchers nicht zu großen Platz einräumen will. Das fällt meist nicht wesentlich ins Gewicht, solange der Anteil des unbestimmbaren Pollens 10 bis 20 % nicht überschreitet.

Der Verfasser hat in zahlreichen Fällen eine morphologische Artunterscheidung durchzuführen versucht. Für den variationsstatistisch bearbeiteten Abschnitt des Übergangs Birke-Kiefer und den weiteren Verlauf der Kiefernzeit ergaben sich folgende prozentuale Artanteile (einige unsichere *P. Cembra* sind weggelassen):

| Probe | Prof. X, cm | 380 | 325 | 315 | 305 | 295 | 255 | 235 | 220 | 205 | 190 | 180 | 160 | 135 | 77 |
|----------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| <i>P. silvestris</i> | % | 80 | 66 | 40 | 20 | 25 | 12 | 15 | 15 | 21 | 12 | 7 | 30 | 50 | 40 |
| <i>P. montana</i> | % | 20 | 34 | 60 | 80 | 75 | 88 | 85 | 85 | 79 | 88 | 93 | 70 | 50 | 60 |

Auf zwei verschiedenen Wegen kommen wir zum Ergebnis, daß *Betula verrucosa* der Birkenzeit durch *Pinus silvestris*, begleitet von *Pinus montana*, abgelöst wird. Nicht weniger eindrück-

lich ist die Übereinstimmung im Übergangsgebiet vom Birken-Kiefern-Mischwald zum reinen Kiefernwald. Wenn nun schon die Werte nicht ganz mit den nach der Form der Variationskurven erwarteten Werten übereinstimmen, so wird man daraus entnehmen, daß es bei der Unebenheit und häufigen Mehr-
gipfligkeit der Kiefern-Variationskurven nicht angängig ist, genauere Verhältniswerte einer Mischung herauszulesen. In den großen Zügen stimmen aber die Ergebnisse der variationsstatistischen und diejenigen der morphologischen Artdiagnose überein.

Die weitere Entwicklung des Artenverhältnisses der Kiefern ist nach morphologischen Untersuchungen im Faulenseemoos folgende:

1. Der Hauptabschnitt der Kiefernzeit, die reine Kiefernzeit (315—235 cm), ist eine Bergkiefernzeit. Die Waldkiefer liefert bloß $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ des Pollens.
2. Der sekundäre Birkenanstieg ist nicht in geringem Maße von der Bergkiefer begleitet. Die Waldkiefer wird wohl durch klimatische Einflüsse, besonders aber durch die sich stark ausbreitenden Birken (*Betula verrucosa*) in der Entwicklung gehemmt worden sein (s. S. 104).

Im Übergangsgebiet zur Eichenmischwaldzeit breitet sich dann die Waldföhre stärker aus, dürfte aber jetzt durch die sich ausbreitenden Haseln und Laubbäume an einer Entwicklung zur Dominanz gehindert werden, während die Bergföhre an edaphisch ungünstigeren Stellen vorläufig noch voll konkurrenzfähig bleibt.

3. Auffällig und einer weitem Abklärung wert ist, daß ein derart hoher Prozentsatz von Bergkiefern in die EMW-Zeit eingeht. Auch Variationsdiagramm 9, Abb. 18, spricht für hohe Bergkiefernbeteiligung.

V. Geochronologische Untersuchungen.

a) Die Schichtung des Sediments im ehemaligen Faulensee.

Schon im Jahre 1936 war ich bei einer Bohrung (Profil III, S. 19) auf mehrfache und deutliche Schichtung der Sedimente in den tiefen Schichten aufmerksam geworden. Helle seekreidige Schichtchen wechseln mit dunkeln gyttjaartigen Schichtchen sehr regelmäßig ab. Bald sind die weißen Seekreidestreifen fein, schmal, jedoch in ziemlich regelmäßigen Abständen in einer graubraunen Gytjamasse drin; bald sind weiße und braune Schichtchen von ähnlicher Dicke; bald wiederum überwiegen die weißen Seekreideschichtchen und zeigen nur feine dunkle Streifen. Häufig überwiegt auch eine Komponente ganz, so daß in der braunen Gytja resp. der weißen Seekreide eine Schichtung nicht mehr zu erkennen ist; der Übergang von geschichteten zu ungeschichteten Partien ist im allgemeinen so gleitend, daß man wirklich den Eindruck bekommt, es habe an der zweiten Komponente gefehlt, um die auch jetzt noch vorhandene Auflagerungsschichtung sichtbar zu machen.

Abgesehen von den Stellen, wo die Erkennbarkeit der Schichtchen verschwindet, laufen die Schichtchen zusammenhängend durch den ganzen Bohrkern und sind durch die Bohrung meist nur unwesentlich verzerrt. Abb. 19 gibt einen ziemlich guten Eindruck dieser prachtvoll ausgebildeten und erhaltenen Schichtung. Allerdings zeigt das photographische Bild gewisse Unschärfen; in der Natur sind diese Schichtchen infolge der Möglichkeit, Beleuchtung und Blickrichtung zu ändern, noch deutlicher erkennbar. Die Aufnahme stammt aus Profil XI aus 1068,9 bis 1084,6 cm Tiefe, also aus dem Übergangsabschnitt von der EMW-Zeit zur 1. Buchenzeit; sie zeigt ungefähr 200 Schichtchen, die somit eine mittlere Dicke von 0,8 mm aufweisen. Da jedes nicht ganz rechtwinklige Schneiden des Bohrkerns die Schichtzeichnung verwischt, ist es besser, das Material zu brechen; dann bleibt die Feinstruktur besser erhalten, ja, kann bei etwas verschiedener Zähigkeit der hellen und dunkeln Teile der Schichten noch betont werden. (Man tut das am besten, indem man den Bohrkern in der Längsrichtung wenig anschneidet und das Angeschnittene durch Querbewegen des Messers herausbricht.)

Was die Schichtdicken betrifft, ist schon aus den Feldmessungen erkennbar, daß die tiefsten Stellen eines Profils die engsten Schichten aufweisen (ca. 0,5 mm), die höhern stets weitere (bis zu wenigen Millimetern). Das steht wohl im Zusammenhang mit der Verlandung des Seeleins, mit dem Hineingeraten in die Uferzone und in das Mündungsgebiet von Zuflüssen.

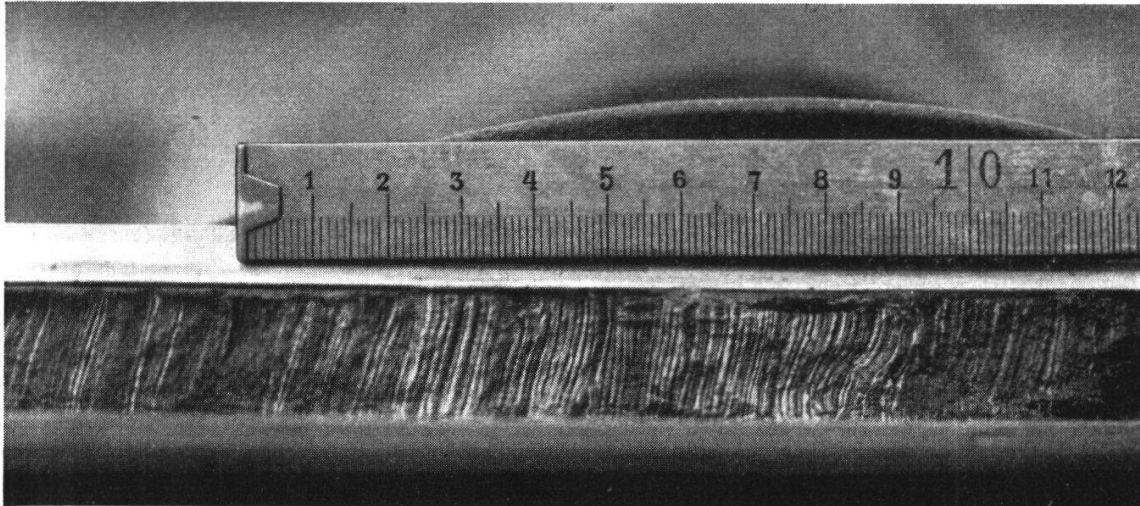


Abb. 19. Jahresschichtung im Faulenseemoos aus Profil XI, links 1068,9 cm Tiefe, rechts 1084,6 cm Tiefe, im schwed. Kammerbohrer. In diesem Abschnitt sind laut Protokoll 206 Jahresschichten gezählt worden (phot. M. Welten).

Schon diese Feldbeobachtungen sprechen durch den Farb- und Materialwechsel, den Schichtenzusammenhang, die Regelmäßigkeit und Prägnanz der Erscheinung und die nach oben größeren Schichtdicken für eine Jahresschichtung.

Die Möglichkeit der Bildung einer solchen Repetitionsschichtung ist früh erörtert worden. So schrieb W e s e n b e r g - L u n d (1902, cit. nach N i p k o w, 1920): «Wenn so in verschiedenen Jahreszeiten ganz verschiedenes Material sedimentiert wird, müßte man nicht nur vermuten, daß sich am Seegrund eine Schichtung nachweisen ließe, sondern daß die einzelnen Lagen auch große Unterschiede in ihrer chemischen Zusammensetzung aufweisen würden. Tatsächlich läßt sich nichts derartiges in den trockengelegten Seegyttjen der Gegenwart oder Vorzeit nachweisen. Die Grundfauna bewirkt bei der Aufarbeitung des Materials eine Durchpflügung und Umlagerung des Bodens, bei der jede ursprüngliche Schichtung verlorengehen muß.» Tatsächlich konnte dann N i p k o w (1920) im Zürichsee in 100 bis 140 m Tiefe und im Baldeggersee schon in 60 m Tiefe eine sich über 23 resp. 40 Jahre erstreckende Jahresschichtung nachweisen. Es ist charakteristisch, daß sich die Schichtung nur an wenigen, von einmündenden Bächen ungestörten Stellen nachweisen ließ. N i p k o w hat diesen seltenen Fund auch gründlich untersucht und folgende Feststellungen gemacht: Die

Schichtdicken betragen ca. 5 mm; die dunkeln Stellen bestehen aus organischem Detritus und beigemischtem Schwefeleisen und stellen das Winter-sediment dar, die hellen bestehen aus Kalzitkriställchen und stellen das Sommersediment dar; Mikroanalysen aus einzelnen Teilen einer Jahres-schichtung ergeben einen typischen, mit dem heutigen übereinstimmenden saisonbedingten Wechsel von Sediment, zoogenen und phytogenen Resten; einige geschichtlich bekannte Planktoninvasionen lassen die Abzählung verifizieren. Nipkow schreibt: «Hauptbedingung für das Zustandekommen der Schichtung scheint mir der Wechsel großer Planktonmaxima innerhalb des Jahres und die Reduktion der Schlammfauna durch eintretenden Sauerstoffschwund zu sein.» Die Untersuchung der gleichen Jahres-schichten hat Minder (1923) weitergeführt und gefunden: Die Bildung der Kalzitkristalle erfolgt wohl durch den Entzug von CO_2 durch die Assimilation der sommerlichen Planktonvegetation; die fröhsommerlichen Kristalle sind, wohl als Folge übernormal hohen CO_2 - und Kalkgehalts zu dieser Zeit besonders groß (ca. 40 μ); später werden sie kleiner (2-10-20 μ); das Auftreten einer sichtbaren Schichtung erst seit Jahrzehnten wird der modernen Seewasserverunreinigung und der daraus hervorgehenden Umbildung der Biozönose zugeschrieben, die einen jährlich-winterlichen Faulschlammabsatz zur Folge habe; die obersten Schichten des Zürichsees hätten den Charakter eines eutrophen Sees angenommen, während die tiefern Schichten noch immer oligotroph seien. Minder (1926) konstatiert, daß ein großer Teil des ausgefällten Kalkes in den tiefern Schichten des Sees wieder aufgelöst werde, indem er folgende Überlegung macht (S. 29): «Rechnen wir die Seekreide zu 9 m Mächtigkeit und den Zeitraum zurück bis zum Rückzug der Gletscher zu 15 000 Jahren, so gibt das pro Jahr einen Absatz von 0,6 mm. Diese Kalkausscheidungen, erst noch auf ein Jahr verteilt, müssen im Wasser des offenen Sees jederzeit wieder gelöst werden.» Pia (1933, S. 206/07) übernimmt hieraus die Angabe, die Jahres-schichtdicke betrage 0,6 mm an 9 m mächtigen Seekreideschichten, die sich über 15 000 Jahre erstrecken sollen. Es sei hier ausdrücklich festgehalten, daß die 15 000 Jahre ausschließlich auf der Schätzung Minder's beruhen, und daß nicht die geringste Schichtzählung und -messung zugrunde liegt.

Auf die schon äußerlich auffallende Ähnlichkeit des photographischen Bildes der Zürichsee- und Baldeggersee-Schichtung in den Tafeln von Nipkow (1920 und 1927) mit meiner Aufnahme sei noch besonders aufmerksam gemacht.

Seither und wohl schon vorher sind vereinzelt Beobachtungen über Schichtung in Seesedimenten früherer Epochen gemacht worden. So erwähnt Gams (1927) Bändertone aus den Lunzerseen und Gams (1929) solche aus dem Lünensee; Oberdorfer (1937) stellte in Urbis in den Südvogesen 2 m Bänderton fest. Eine nicht nur im Seemergel, sondern auch in der darüberliegenden Seekreide häufig auftretende Feinschichtung beschreibt Lüdi (1939) aus dem Genfersee von Profilen, die bloß wenige Meter unter dem Seespiegel beginnen, nach eigenen Beobachtungen und solchen von Joukowsky und Favre (S. 490). Diese Autoren versuchten auf Grund von Schichtzählungen zu einer Abschätzung des Alters jener Sedimente zu gelangen. Joukowsky und Favre, die ihr Hauptaugenmerk auf die großen Farbwechsel (bedingt durch sandige, tonige und kalkige Sedimente) richteten, zählten auf der ganzen spät- und postglazialen Schichtserie von 19,3 m (mit Ausschluß von 4,5 m schichtfreien Materials) bloß 1784 Schichten, was zweifellos viel zu wenig ist, um als Entsprechen-

des einer Jahresschichtung gelten zu können. L ü d i dagegen glaubt, in der viel feinern Kleinschichtung das Äquivalent für die Jahresschichtung zu erkennen und stellt (bei sehr großer Variabilität) eine wahrscheinliche mittlere Schichtdicke von 1—2 mm fest. Eine Schichtzählung durchzuführen war aber aus verschiedenen Gründen nicht möglich, weshalb man sich mit einer globalen Schätzung des Zeitraums seit der letzten Vergletscherung von 9500—19 000 Jahren begnügen muß.

Aus dem ehemaligen Sihlsee erwähnt L ü d i (1939, S. 50 und 66) eine Feinschichtung des Seemergels mit Schichtdicken von 1 mm bis zu wenigen Millimetern und gibt eine gute photographische Aufnahme. Die stete Unterbrechung durch Sand- und Kiesschichten und Torf läßt aber eine zusammenhängende Auswertung nicht zu.

H ä r r i (1940, S. 15) konnte im blaugrauen Mergel des Wauwilermoores gelegentlich eine Feinschichtung von ca. 1 mm Dicke beobachten; er erwähnt die Möglichkeit, daß es sich um jahreszeitliche Schichtung handle, indem im Sommer die kalkreicheren hellern Bändchen, zur Zeit der Schneeschmelze die tonreicheren dunklen Bändchen entstanden seien.

Das klassische Land der Bearbeitung geschichteter Sedimente ist der europäische Norden, besonders Schweden und Finnland, wo Landhebungen ein hervorragend übersichtliches System in die fluviatilen Ablagerungen gebracht haben. In Schweden entstand die Geochronologie der Nacheiszeit sowie schließlich der Eiszeit selbst. De G e e r s erste Untersuchungen stammen aus dem Jahre 1878 (zusammenfassender Überblick 1939). Die ersten bekannten Nahkonnektionen in Schweden datieren aus dem Jahre 1905. Bis 1910 war der Verlauf der relativen Schichtdicken von 12 000 Jahres-Warwen festgelegt (heute ca. 15 000). Die Grundlagen für eine erfolgreiche Anwendung der Geochronologie im Ostseegebiet war damit geschaffen. Sie ermöglichte insbesondere auch die Konnektion mit den umfangreichen Untersuchungen von S a u r a m o M a t t i (z. B. 1929, 1934) in Finnland. Zahlreiche andere Forscher haben dazu beigetragen, die nordische Chronologie zu einer Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu bringen, wie sie sonst noch nirgends existiert. Ob die Tragfähigkeit der bekannten Telekonnektionen so groß ist, wie eine Gruppe von Forschern um d e G e e r glaubt, werden die kommenden Jahrzehnte entscheiden müssen.

Wenn wir Schichtung, wie sie das Faulenseemoos zeigt, als Jahresschichtung auffassen, so unternehmen wir also den Versuch, auch in Mitteleuropa zu einer aus Sedimenten gewonnenen Chronologie zu gelangen. Der vorerst wichtigste Punkt dieses Versuches ist der Nachweis, daß es sich hierbei wirklich um Jahresschichten handelt.

D e e c k e (1930) gibt eine prinzipielle Übersicht über die Nachweismöglichkeiten. Er unterscheidet eine stratigraphische Methode zum Nachweis eines Jahreszeitenwechsels und eine paläontologische. Die erste besteht im Nachweis einer periodisch wiederkehrenden Verschiedenheit des Korns, einer Repetitionsschichtung. Als Bedingungen für deren Entstehung nennt er: Erosionsgebiet und Ablagerungsgebiet müssen nahe beieinander liegen, damit keine Vermischung durch langen Transport stattfindet (Meere und große Seebecken scheiden deshalb aus) (ob gänzlich? — der Verf.); Brandung und Strömungen müssen fehlen; eine gewisse Tiefe des Beckens muß da sein, damit es nicht zu schnell gefüllt wird. Der palä-

ontologische Jahreszeitennachweis besteht im Nachweis jahreszeitgebundener Arten und Formen, wie etwa der Nachweis von Früchten, Kaulquappen, Bernstein, Herbstlaub.

Im Faulenseemoos wirkt bei aller Prägnanz der Schichtung die geringe Schichtdicke für die Untersuchung erschwerend. Aus Schichten von meist kaum 1 mm Dicke bei der geradezu pulverigen Beschaffenheit einer Kalkgyttja mehrere Analysen, verteilt über das ganze Jahr, durchzuführen, gelingt nicht leicht. Ich mußte mich damit begnügen, auf kleinen mehrschichtigen Sedimentklümpchen mit feinem Messer kleinste Sedimentmengen auf der Schichtfläche abzuschaben und so 2—5 Portionen aus einer Jahresablagerung zu gewinnen. Diese Methode läßt gewisse Vermischungen der Jahresteilschichtchen nicht vermeiden, indem man trotz aller Vorsicht an gewissen Stellen zuviel, an andern zu wenig abschabt. Dieser Umstand ist bei der Wertung der Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen.

Als stratigraphischer Nachweis einer Jahresschichtung kann schon der Unterschied in Farbe und chemischer Zusammensetzung betrachtet werden. Die Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung nachzuweisen habe ich zwar nicht für nötig befunden (weil bei der geringen Schichtdicke nur schwer genügend Analysenmaterial zu bekommen ist). Es ist doch wohl klar, daß das organische Material (meist etwa 20 %) und der Ton (meist 20 bis 40 %) die Hauptkonstituenten der dunkeln Schichtteile darstellen, die 40—60 % Kalk vorwiegend die hellen Teile bilden.

Einen stratigraphischen Nachweis versuchte ich in der Form einer einfachsten granulometrischen Untersuchung. In dem, wie erwähnt, gewonnenen Material wurden bei der mikroskopischen Durchsicht von Wasserpräparaten die zwei größten Kalkkristalle jedes Gesichtsfeldes immer wieder gemessen. Bei einigermaßen gleich dichten Präparaten war eine gewisse Jahresschwankung zu erwarten. Das Ergebnis dieser Messungen zeigt Abb. 20, wo die Schwankung der Mittelwerte der größten Kalkkristalle wiedergegeben ist. Wir konstatieren eine typische periodische Schwankung, die mit der festgestellten Schichtung parallel geht. Man sollte nun wohl erwarten, daß die braune Schicht mit ihrem erhöhten Tongehalt die größern Teilchen liefern sollte. Die Erklärung dafür, daß die Gipfel just im ersten Teil des seekreidigen Schichtchens liegen, fand ich in Minder (1923), der dieselbe

Beobachtung im Zürichsee machte; die größten Kristalle werden nämlich dann ausgeschieden, wenn der große Bikarbonatüber-

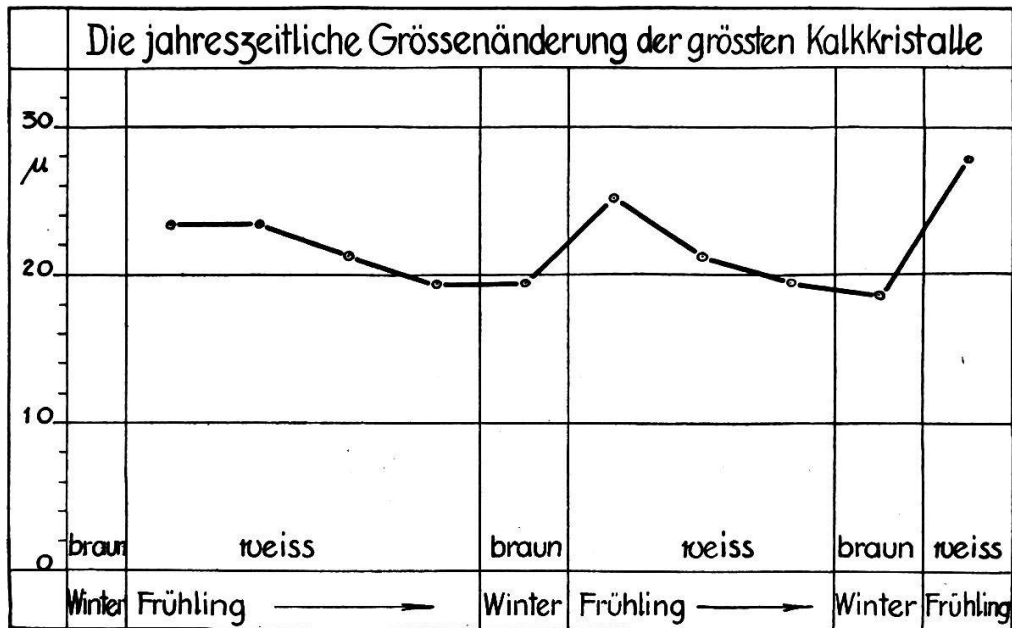


Abb. 20. Granulometrischer Nachweis der Jahresschichtung.

schuß durch die einsetzende Assimilationstätigkeit im Frühsommer zum Verschwinden gebracht wird (vgl. S. 111). Das relativ geringere Absinken der Kurve, verglichen mit dem Zürichsee, mag immerhin durch die stärkern Mergeleinschwemmungen der braunen Schicht bedingt sein. Rein theoretisch könnten sich die beiden Erscheinungen in ihrer Wirkung gerade aufheben; doch ist an der untersuchten Stelle (Profil XI, 1122,5 cm) mit etwa 60 % Kalk und 20 % Ton zu rechnen.

Paläontologische Nachweise für einen Jahreszeitenwechsel versuchte ich durch Analysierung des geformten organischen Inhalts der verschiedenen Jahres-Teilschichten zu gewinnen. Zur Hauptsache handelte es sich um eine pollenanalytische Untersuchung über die einzelnen Teile mehrerer Jahresablagerungen.

Vorgängig einer Besprechung der in Abb. 22 wiedergegebenen Resultate sei auf die für den Pollenanalytiker außerordentlich interessanten Arbeiten von Lüdi (1937) und von Lüdi und Varese (1936) über den kurzfristig erhaltenen Pollenniederschlag in Davos hingewiesen. Zur Erhöhung der Vergleichsmöglichkeit mit meinen Ergebnissen rechnete ich die in der Arbeit von Lüdi (1937, Tab. 1) wiedergegebenen Zählergebnisse für die pollen-

analytisch normalerweise erfaßten Gehölzpollen für zweimonatige Abschnitte in üblicher Weise in Prozente um (Corylus wurde einfachheitshalber eingerechnet). Was in den Messungen in Davos möglich war, Feststellung der absoluten Zahl der in bestimmtem Zeitabschnitt pro Quadratdezimeter sedimentierten Pollenkörner, ist in der Pollenanalyse fast nicht erhältlich. Abb. 21 zeigt die

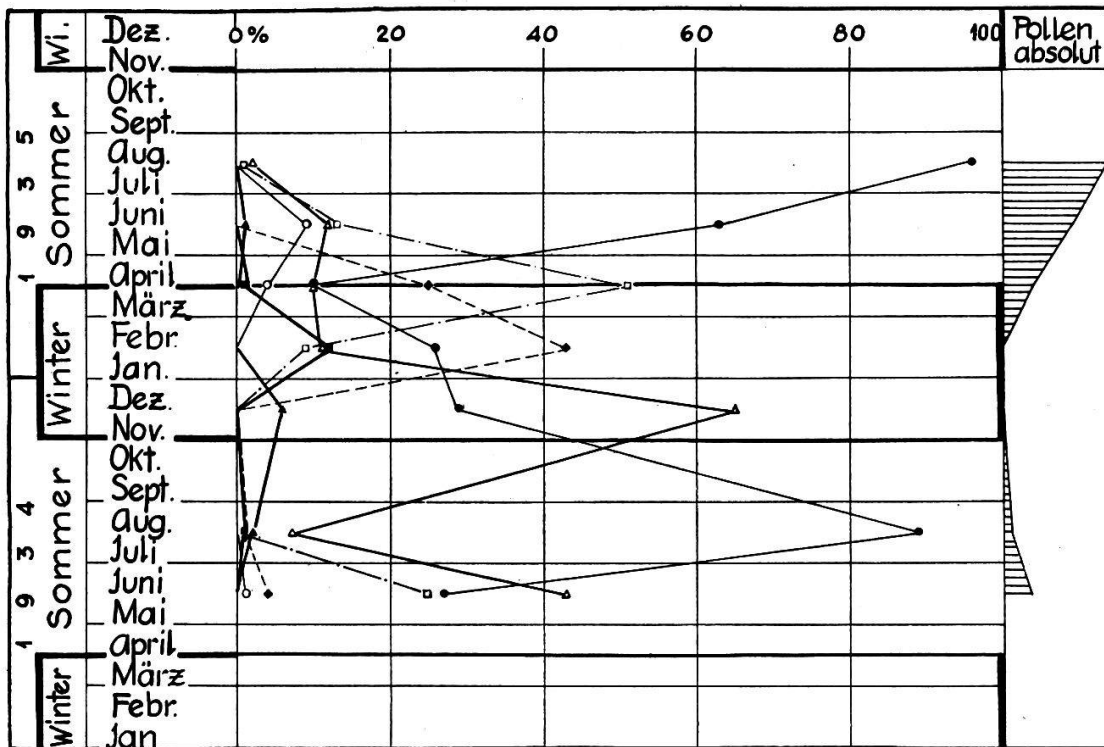


Abb. 21. Der jährliche Pollenniederschlag in Davos 1934/35 nach den Zahlenangaben W. Lüd is (1937) in der üblichen Form eines Pollendia-gramms für 2-Monatsperioden dargestellt.

Resultate von Davos. Man erwartet von einer derartigen Darstellung nun ganz selbstverständlich, daß jede Gehölzart einmal in jedem Jahr kulminiert, und daß sich die Kulminationsgipfel entsprechend den Blühzeiten der einzelnen Arten folgen. Dagegen ist aber zu bemerken, daß die Zusammenfassung zu Zweimonatsperioden die Blühfolge teilweise verdeckt; wieviel mehr muß das in meinen Untersuchungen der Fall sein, wo höchstens vier oder fünf Abschnitte aus einer Jahresablagerung gemacht werden konnten. Für Davos ergibt sich zwar für Pinus, Alnus und Corylus eine einigermaßen vernünftige Blühfolge. Wie merkwürdig verlaufen aber die Prozentkurven von Picea, Fagus, Tilia-Quercus. Picea

kulminiert 1934 zweimal, der Blühzeit entsprechend im Mai-Juni und rein zufällig noch einmal im November-Dezember; im Jahr 1935 ist überhaupt keine markante Kulmination feststellbar, weil der Blühgipfel durch die in diesem Jahre stärker blühende Kiefer gedrückt wird, obwohl *Picea* mit etwa $\frac{3}{4}$ aller Holzarten in den Wäldern dominiert. *Fagus* erreicht ihren höchsten Prozentwert im November-Dezember 1934, *Tilia-Quercus* im Januar-Februar 1935, weil sie als untergeordnete und nicht ortsansässige Arten nur dann zur Geltung kommen, wenn die dominanten Arten der Gegend absolut schwach vertreten sind. Wenn nun Lüdi (1937, S. 109/110) solche schwer verständliche Kurvenverläufe sogar an seinen Absolutkurven feststellt, darf man von den üblichen Relativkurven erst recht nicht zuviel verlangen. Er schreibt: «Tabelle und Kurve ergeben kein befriedigendes Bild. Die Pollenniederschläge zeigen Unregelmäßigkeiten und Widersprüche. Je kürzer die Perioden sind, desto größer erscheinen die Unregelmäßigkeiten. Von einer idealen Aufblühkurve, die von einem Minimalwert langsam oder rasch zum Maximum ansteigt und wieder abfällt, ist keine Rede. Mehrere Maxima und Minima folgen sich... Und vergleichen wir die beiden Beobachtungsjahre, so sind die Mehrzahl der Pollenniederschläge quantitativ in den beiden Jahren wesentlich verschieden und die Maxima zeitlich verschoben.» Lüdi erwähnt als Ursachen dieser Unregelmäßigkeiten den abweichenden Gesamtverlauf der Witterung, das ungleich starke Blühen der Arten in verschiedenen Jahren, die Verschiebung des Blühens mit der Meereshöhe und schließlich die Zufälligkeiten der Sedimentation und eine evtl. ungenaue Zählung.

Wenn wir nun die Pollendiagramme aus dem Faulenseemoos für zwei vierjährige Perioden betrachten (Abb. 22, obere Hälfte aus Profil IX, 1060 cm, erste Buchenzeit; untere Hälfte aus Profil XII, 1250 cm, Ende EMW-Zeit), fällt uns zunächst die unregelmäßig erscheinende Bewegtheit des Kurvenbildes auf. Bei genauerem Verfolgen der Kurven erkennt man zwar in der oberen Hälfte, daß *Corylus* und *Ulmus* eher in der braunen Schicht, *Fagus*, *Abies*, *Pinus* und *Tilia* eher in der weißen Schicht gipfeln. In der untern Hälfte kulminieren *Corylus* und *Ulmus* sehr deutlich in der braunen Schicht, *Quercus* und *Tilia*, ebenfalls *Abies* und evtl. *Fagus* in der weißen Schicht. Es ist nun selbstverständlich nicht so, daß durch eine ungenaue Halbierung des Jahres, wie

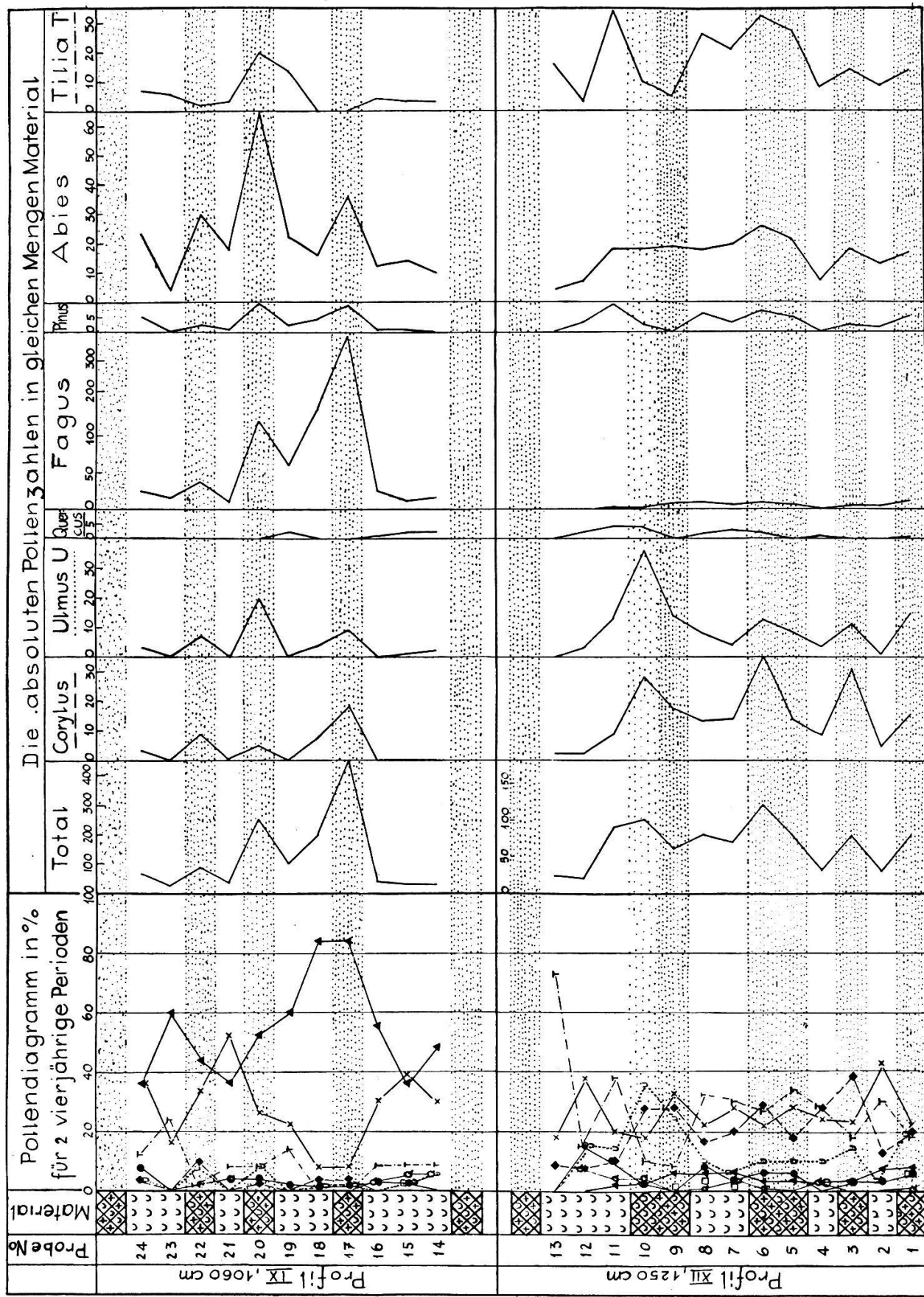


Abb. 22. Paläontologischer Nachweis der Jahresschichtung. Weiß: weißer Schichtteil, Sommer. Punktiert: brauner Schichtteil, Herbst, Winter, frühes Frühjahr. Die Zählergebnisse sind in der üblichen Form eines relativen Pollendiagramms aufgetragen.

sie die Teilung in eine weiße und braune Schicht darstellen dürfte, die einen Arten glatt in die eine, die anderen in die andere Hälfte verwiesen werden. Das ist nach dem Vorausgeschickten wohl klar.

Da es mir von vornherein daran lag, den Nachweis erhöhter absoluter Pollenproduktion zur Blühzeit des Frühjahres und Frühsommers zu erbringen, führte ich die Herstellung der Präparate folgendermaßen aus: Ich schabte für jede Probe immer schätzungsweise gleichviel Material ab (eine Wägung kam nicht in Frage, da es sich nur um Mengen von einigen Milligrammen handelte), in der offensichtlich nicht genau erfüllbaren Absicht, den Pollenniederschlag ungefähr gleicher Zeitabschnitte des Jahres zu vergleichen. (Es muß zwar zugegeben werden, daß die Seekreide wohl rasch gebildet worden ist; sind aber etwa die tonigen Einschwemmungen der braunen Schicht langsam sedimentiert worden?) Diese ungefähr gleichen Materialmengen wurden auf dem Objektträger mit Salzsäure behandelt und dann vollständig ausgezählt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im rechten, größern Teil der Abb. 22 dargestellt. Es folgt daraus:

1. Die braune Schicht ist in allen untersuchten Fällen, bezogen auf die Materialmengen, pollenreicher als die weiße Schicht.
2. Innerhalb der braunen Schicht scheint die obere Übergangspartie zur Seekreide pollenreicher zu sein als die untere.
3. Die Frühblüher *Corylus* und *Ulmus* kulminieren ohne Ausnahme in der braunen Schicht, und zwar in der obern Hälfte.
4. *Fagus*, *Pinus* und *Abies* haben ihren Schwerpunkt in der braunen Schicht, neigen aber mehrfach dazu, ihn in die weiße Schicht hinüber zu verlagern.
5. *Tilia* hat mehrfach in der weißen Schicht höhere Werte als in der braunen; *Quercus* scheint die weiße Schicht auch eher zu bevorzugen, ist aber spärlich und deshalb unsicher vertreten.

Einige beachtenswerte Ergebnisse liefert noch die folgende Zusammenstellung der mittlern Pollenzahl der in Abb. 22 dargestellten 8 weißen und 7 braunen Teilschichten:

| Arten | Im Mittel enthält | | | ergibt in % Teilschicht | | Blühmonat nach Schinz und Keller (1923) |
|------------------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-----------|---|
| | 1 Teilschicht | | 1 ganze Schicht Stk. | braun % | weiß % | |
| | braun Stk. | weiß Stk. | | | | |
| Ulmus | 20 | 5 | 25 | 80 | 20 | III |
| Corylus | 25 | 8 | 33 | 76 | 24 | II, III |
| Fagus | 81 | 43 | 124 | 65 | 35 | IV, V |
| Abies | 36 | 26 | 62 | 58 | 42 | V |
| Pinus | 6 | 4,5 | 10,5 | 57 | 43 | V |
| Tilia | 18 | 20 | 38 | 47 | 53 | VI |
| (Quercus) | 1 | 1,8 | 2,8 | — | — | |
| (Alnus) | 1 | 0,7 | 1,7 | — | — | |
| Gehölzpollen | 188 | 109 | 297 | 63 | 37 | |
| „ Prof. XII, EMW | 130 | 86 | 216 | 60 | 40 | |
| „ Prof. XI, 1. Bu | 262 | 133 | 395 | 66 | 34 | |
| Kieselalgen, Prof. XII | 9 | 17 | 26 | 35 | 65 | |

Die Arten dieser Tabelle sind geordnet nach dem prozentualen Verhältnis ihres Auftretens in der braunen und der weißen Schicht. Sollte es reiner Zufall sein, daß diese paläontologisch-stratigraphisch gewonnene Anordnung der Arten mit der Anordnung der Arten nach ihrer Blühzeit übereinstimmt? Wenn *Corylus* auch nach *Ulmus* steht, so mag das Zufall sein; andererseits erscheint aber in den Untersuchungen Lüdís (1937) in Davos *Corylus* aus den tiefgelegenen Tälern (Davos hat keine *Corylus*) im April!.

Der letzten Tabelle ist zuunterst das Ergebnis der einzig in Profil XII durchgeführten Zählung von Kieselalgen wiedergegeben. Die gezählten 102 Kieselalgenskelette verteilen sich in charakteristischer Weise zu zwei Dritteln auf die Seekreide und zu einem Drittel auf die braune Schicht, vorwiegend jeweils auf die untern Teile der Seekreideschicht. Vermutlich deckt sich diese Tatsache mit dem fröhsommerlichen Planktonmaximum rezenter Untersuchungen und stellt einen Teil jener Ursachen dar, die die periodisch wiederkehrende Kalkausscheidung bedingen.

Die vorstehende Tabelle erlaubt noch einen weiteren interessanten Hinweis. Der Pollengehalt einer vollständigen Schicht (braun und weiß) betrug 200—400 Stück. Da die kleinen Schicht-

pakete, an denen das Untersuchungsmaterial abgeschabt wurde, auf der Schichtfläche eine Größe von $\frac{1}{8}$ — $\frac{1}{6}$ cm² hatten, ergibt sich der Pollengehalt pro Schicht und cm² zu 1200 bis 3200 Stück. Lüdi (1937) fand an Gehölzpollen in Davos pro Jahr und dm² ca. 4000 Stück; er schreibt S. 121: «Die von Bertsch in Ravensburg im Jahre 1933 auf dem cm² Auffangfläche erhaltene Pollenmenge liegt in der Größenordnung, die wir in Davos auf dem dm² erhalten haben.» Wir stellen fest, daß die pro Schichteinheit sedimentierte Pollenmenge in Faulensee mit der anderwärts pro Jahr sedimentierten Menge in der Größenordnung sehr gut übereinstimmt.

Zusammenfassend halten wir dafür, daß der Nachweis erbracht ist, daß die aus dem Faulenseemoos beschriebene Schichtung eine Jahresschichtung ist.

Die Bedingungen für die Entstehung einer so wohlentwickelten Jahresschichtung sind wohl mannigfaltig und subtil. Es dürften etwa folgende sein: (F = Faulenseemoos)

1. Klimatisch günstige Lage für starke organische Stoffproduktion. (F: See- und Föhnklima in 600 m Höhe.)
2. Kalkreicher, jedoch geringer und vor allem relativ gleichmäßiger Wasserzufluß. (F: Kurzes, kalkreiches Quellwasserbächlein, z. T. bloß Bergfluß.)
3. Mäßig großes Seebecken mit langsamer Wassererneuerung.
4. Windschutz und Ufervegetation, die ein zeitweises Aufwühlen und Durchmischen hemmen. (F: allseitig eingebettet.)
5. Günstige morphologische Verhältnisse für Strömung und Abfluß. (F: Ausfluß in einem sich langsam verengernden Seearm, an dessen Beginn eine Schwelle in etwa 6 m Tiefe den tiefern Seeteil vor starker Durchströmung schützt.)
6. Fehlen von Unterwasserrutschungen. (F: nichts beobachtet, vielleicht deshalb, weil die stete Zufuhr von feinstem Mergel das Sediment gut bindet.)
7. Tiefgelegene, ± horizontale Sedimentationswanne. (F: morphologische Struktur siehe Abb. 26, S. 160.)
8. Reiche Planktonvegetation und mangelnde durchwühlende Bodenfauna. (F: Die Ähnlichkeit mit dem Amsoldingersee — v. Büren, 1938 — ist groß. Dieser stellt starken som-

merlichen Sauerstoffschwund fest, der die Entwicklung der Bodenfauna in den größeren Wassertiefen hemmt. Es ist wohl nicht bloßer Zufall, daß nach v. Büren in einer Tiefe von 7—8 m die reduktiven Prozesse beginnen, während im Faulenseemoos die wohlausgebildete Schichtung nur unterhalb jener Tiefe von 7—8—9 m vorkommt.)

9. Relativ kleines Hypolimnion im Vergleich zum Epilimnion, wodurch die Fäulnisstoffe in kleiner Wassermasse konzentriert werden und so den Sauerstoffschwund in der Tiefe fördern. (F: relativ enge Mulde von 13—15 m Tiefe.)

Möglicherweise sind noch andere Bedingungen für die Jahresschichtenentstehung förderlich, wie vielleicht eine bestimmte geschlossene Waldumrahmung. Eines gehört dann jedenfalls noch dazu: der gute Zufall des Auffindens. Ich stieß erst bei der dritten Bohrung auf die ersten Spuren, jedoch erst bei der 9. Bohrung auf auswertbares Material. Da sich diese Schichtung in schönster Ausbildung auch erst unterhalb ca. 8 m findet, so war sie auch erst dann erreichbar, als ich den 9 m-Bohrer auf 12 und 15 m verlängern konnte.

Es lohnt jedenfalls die Mühe, bei allen Bohrungen stets auf das Vorhandensein einer Schichtung zu achten und das kleinste Meßresultat nicht zu verwerfen. Zum mindesten läßt sich damit die Tragfähigkeit der im nächsten Abschnitt darzulegenden Chronologie abschätzen, vielleicht ist es ein Hinweis auf ein ähnliches, vielleicht noch schöneres Vorkommen.

Bevor wir zu den eigentlichen Zählungen übergehen, muß noch auf eine Variante der Jahresschichtung im Faulenseemoos hingewiesen werden. Nach den Ergebnissen der Bohrungen bis zur 9. Bohrung mußte ich annehmen, die Schichtung sei nur wohlausgebildet im Abschnitt von der späten EMW-Zeit bis etwas über die 2. Buchenzeit. Zwei weitere Bohrungen und sorgfältige Felduntersuchung belehrten mich eines andern. Einmal war die beschriebene Schichtung durch die ganze EMW-Zeit hinunter zu verfolgen. Dann aber entdeckte ich, daß auch das gesamte Spätglazial eine Schichtung aufweist. Diese Art der Schichtung fällt nicht durch deutliche Farbunterschiede auf; sie ist beim Schnitt des Materials überhaupt kaum erkenntlich; sie wird erst sichtbar beim Brechen: Ich entfernte nach Öffnen der Kanne offenbare Verunreinigungen, setzte dann mein Messer parallel zur Kannenöffnung

etwas ins Material und brach quer zur Messerklinge etwas Material heraus. Dann war fast ausnahmslos eine feine, aber deutliche Querrippung erkennbar, deren Schichtabstand ganz in der Größenordnung der EMW-zeitlichen Schichtung blieb, und die mit dieser durch Übergänge glatt verbunden war. Die graphische Darstellung der Schichtdicken in Abb. 15, Profil XI, vermittelt den Eindruck der übereinstimmenden Gleichartigkeit der höhern und tiefern Schichtung. Für die im Spätglazial andersartige Ausbildung der Jahresschichtung dürften der geringere Gehalt an organischem Material und der höhere Tongehalt ausschlaggebend sein (vgl. Abb. 15). Es konnte deshalb im wesentlichen nur zu einem Wechsel von tonigem (Winter-Frühjahrs-?) Sediment und seekreidigem (Sommer-?) Sediment kommen. Dabei setzte wohl auch im Sommer die Toneinschwemmung nicht aus und die Kalkausfällung (z. T. physikalisch?) stand unter ungünstigeren Bedingungen, so daß es zur Ausbildung rein weißer Sommerschichten nicht kommen konnte. Alle übrigen, besonders die morphologischen Bedingungen waren für die Bildung einer Schichtung gleich, ja der größeren Tiefe wegen sogar günstiger. Der geringere Gehalt an organischer Substanz dürfte auf geringern Eutrophiegrad des Gewässers schließen lassen, ja vielleicht gar auf Oligotrophie, wenigstens in den frühesten Abschnitten des Spätglazials. Damit stellt diese Schichtung ein Übergangsglied dar zwischen der physikalischen Schichtung des Bändertons und der physikalisch-planktogenen Schichtung des eutrophen Sees. Im eigentlichen, mehr oder weniger fossilleeren Lehm unterhalb der weidenzeitlichen Schichtung war irgendeine Schichtung nicht oder nur selten erkennbar (oder vielleicht auch infolge der großen Adhäsionskraft der Lehmteilchen nicht präparierbar). Bloß in Profil XII fand sich bei 1430—1431 cm und in Profil XI bei 1372,2—1374,2 cm eine bändertontartige Stratifikation von ca. 1,7 mm Schichtdicke. Es schadet wohl nicht viel, wenn man sie in Übereinstimmung mit der Vorstellung relativ rascher Bildung jenes Sedimentes als Jahresschichtung auffaßt. Sie spricht jedenfalls nicht gegen eine rasche Bildung.

b) Die Zählung der Jahresschichten im Sediment des Faulensees.

Nachdem im vorigen Abschnitt die Schichtung als Jahresschichtung erkannt worden ist, seien nunmehr die ausgeführten Zählungen wiedergegeben. Im einfachsten Falle einer lückenlosen Schichtung vom Moment des Gletscherrückzugs bis heute könnte eine einfache Zähltablette jeden wünschbaren Aufschluß geben. Dieser Idealfall ist wahrscheinlich nirgends auf der Erde verwirklicht worden. Jedenfalls sind geochronologische Untersuchungen bis jetzt überall nur durch mühsame Kombinationen, durch Interpolationen und Extrapolationen zu einem geschlossenen chronologischen System zusammengefaßt worden.

Bevor die Ergebnisse dargelegt werden, sind einige Fragen zu beantworten:

1. Frage: Ist jede Jahresschicht so deutlich, daß der Zählung an sich Fehler nicht anhaften? Bei weitaus den meisten Schichten ist die Erkennbarkeit leicht und zweifelsfrei. Vereinzelt kommt es vor, daß der Bohrer das Sediment etwas verdreht, so daß auf kurze Strecken gewisse Unklarheiten entstehen können. Im Zweifelsfalle habe ich die Zählung abgebrochen; solche Fälle sind in den Zähltabellen als Lücken sofort erkennbar. Schwerer zu beurteilen sind systematische Fehler folgender Art: Könnte nicht gelegentlich eine Saisonschicht ausfallen oder eine Seekreideschicht durch starke sommerliche Regeneinschwemmung unterbrochen und so für das Auge verdoppelt werden? Oder könnte nicht eine Verdopplung auch entstehen durch Absterben von Planktonmassenvegetation mitten im Sommer und nachfolgende Massenentwicklung eines andern Lebewesens? Die Zählergebnisse sprechen gegen eine wesentliche Verdoppelungstendenz; die erhaltenen Zahlen sind nämlich eher kleiner als man erwartet hätte. Tonige Einschwemmungsbändchen, als Folge eines ungewöhnlichen Hochwassers sind eine große Seltenheit, treten dann aber in allen Profilen auf und sind als stratigraphische Fixpunkte verwendbar. Sie sind in ihrer lehmig-zähen Beschaffenheit so charakteristisch und meist so dick, daß hierin eine wesentliche Fehlerquelle nicht liegt. Schwankungen der Dicke der Jahresschichten, insbesondere auch derjenigen der Saisonschichten sind aber ohne weiteres zu erwarten (und auch vorhanden), wenn man an die wechselnde Jahreswitterung, ja, das wechselnde Klima

denkt und an die wechselnden Entwicklungstendenzen der Biozönosen. Ob es dabei zu Zeiten guter Schichtbildung normalerweise zu einem totalen Ausfallen einer ganzen Saisonschicht kommen kann, scheint mir fraglich. Dagegen führt die Entwicklung des Sees, resp. seiner Biozönosen, Schwankungen um jene schon genannte labile Eutrophie-Lage durch, die gelegentlich zum völligen Dominieren der hellen Sommerschichten und Verschwinden der Schichtung führen, gelegentlich allein das braune Material einer Kalk-, resp. Tongyttja zeigen. Auch in diesem Falle entstehen Lücken im Zählprotokoll. Starke Schwankungstendenz dieser Art macht ganze Profilstücke oder gar Profile für die Zählung untauglich; man erkennt dann Jahresschichten nur beim jeweiligen Durchgang durch die labile Mittellage. Es scheint mir nicht ausgeschlossen, daß man durch chemische Reagenzien oder durch paläontologisch-stratigraphische Untersuchungen auch in solchen Fällen zu einer Auszählung der Jahresschichten gelangen könnte.

2. Frage: Wie sind kleinere Lücken in der Schichtreihe in der Auswertung zu behandeln? Um solche Lücken einigermaßen richtig zu schließen, muß ihr Charakter bekannt sein. Man hat jedenfalls zu unterscheiden zwischen Lücken, die durch die Bohrung selbst erzeugt worden sind, sagen wir künstlichen Lücken, und solchen, die natürlicherweise im Material vorhanden sind. Künstliche Lücken entstehen recht selten durch Materialquetschungen beim Bohren, regelmäßig aber am oberen Ende jeder 50 cm-Kanne, da beim Entnehmen der oberen Kanne die Bohrspitze jeweils schon in den Bereich der nächsten Kanne eindringt. (Die Lücken sind oft klein, was ich erfahrungsgemäß dem Umstand zuschreibe, daß der letzte Teil des Bohrerversenkens durch Eindrücken statt durch Einbohren erreicht wurde.) Wenn auf diese Weise ein Stück einer Schichtserie zerstört wird, so kann die Lücke rechnerisch bei sehr kleinem wahrscheinlichem Fehler durch lineare Interpolation mit Hilfe der angrenzenden Schichtdicken geschlossen werden. Solche Interpolationen sind in der Zähltablelle mit senkrechten Ziffern eingesetzt.

Unsicherer zu schließen sind natürliche Lücken. Es könnte ja sein, daß eine solche Lücke durch eine ungewöhnlich dicke Einschwemmungsschicht entstanden ist; dann könnte eine lineare Interpolation zu ebenso massiven positiven Fehlern führen. Es ist selbstverständlich, daß Feldbeobachtungen, im Bohrprotokoll

festgehalten, solche Fehlschlüsse ganz vermeiden lassen. Solche massive Einschwemmungen kommen im Faulenseemoos erst in den obersten paar Metern vor; wir kommen auf diesen Abschnitt zurück. Wie nun aber, wenn die Einschwemmungen nicht so massiv sind, daß sie bei der Bohrung auffallen, wenn sie aber durch ihre Stetigkeit im Laufe des Jahres die Jahresschichtung doch unsichtbar gemacht haben? Zur Abschätzung des Einflusses dieser Fehlerquelle vergleichen wir am besten unsere Materialanalysen mit den Jahresschichtdicken. Ein derartiger statistischer Vergleich am Material des Profils XII aus dem Spätglazial (bei 10 % wenig übersteigenden Mengen an organischer Substanz) zeigt einmal, daß bei gleichem Tongehalt recht verschiedene Schichtdicken möglich sind, wohl deshalb, weil die Reaktion der jeweiligen Biozönoson auf Schwankungen der Einschwemmungen selbst auch schwankend ist. Dann aber folgt das unerwartete Resultat, daß bei höherem Tongehalt die Schichtdicken jeweils kleiner sind, etwa so, daß bei 20 % Ton die Schichtdicke um 0,46 mm herum schwankt, bei 30 % um 0,43 mm, bei 40 % um 0,40 mm, bei 50 % um 0,36 mm. Man möchte fast vermuten, daß die Schichtdicke hauptsächlich eine Funktion des organogen gefällten Kalkes und der Tongehalt ein mehr oder weniger zufälliger Mitläufer sei. In Wirklichkeit kompensieren sich Kalk und Ton weitgehend, was man aus den ersten Darstellungen in den Abb. 15 und 16 für die Profile XI und XII ersieht. Hohe absolute Einschwemmung beeinflusst die Biozönose im allgemeinen wohl hemmend: der organogen gefällte Kalk nimmt ab, wohl als Folge verminderter Assimilations- und Lebenstätigkeit (Rückentwicklung zum oligotrophen Gewässer). Geringe Einschwemmung erlaubt eine bessere Entwicklung der Biozönose, vermehrte Kalkfällung, höhern Eutrophiegrad. Diese Erscheinung leistet einer zuverlässigen Interpolation in weitem Maße Vorschub, indem die Schichtdicken in relativ engen Grenzen schwanken. Schwankungsvermindernd kommt noch hinzu, daß in sehr vielen Fällen der Gehalt an organischem Material konkordant verläuft mit der Toneinschwemmung (wohl deshalb, weil das organische Material z. T. auch eingeschwemmt wird). Aus diesen Erscheinungen resultiert die Tatsache, daß die Schichtdickenmittel aus 50 Schichten während des ganzen Spätglazials nur zwischen 0,3 und 0,5 mm/Jahr schwanken. Dazu kommt, daß zwischen hohen und tiefen Mitteln fast

stets gleitende Übergänge vorhanden sind. Ähnliches gilt für die EMW-Zeit. In den folgenden Waldzeiten sind zwar die Schichtdicken größer, ebenso die Dickenschwankungen, doch sind dieselben ausgleichenden Erscheinungen am Werk wie in frühern Zeiten. Deshalb halten wir eine lineare Interpolation auch in solchen Fällen von Zählücken für zulässig. Auch für den entgegengesetzten Fall, daß die tonigen und organischen Materialanteile stark zurücktreten und das Sediment den Charakter einer ungeschichteten Seekreide annimmt, führt nach dem Gesagten die lineare Interpolation nur zu kleinen Fehlern.

Einen guten Einblick in die Zuverlässigkeit der Zählungen und Interpolationen gibt folgende Zusammenstellung der Resultate für die 1. Buchenzeit, die in allen drei Zählprofilen zur Untersuchung gelangte. Profil IX und XI sind 27 m voneinander entfernt, Profil XI und XII 24 m, Profil IX und XII 51 m. (Kursiv gedruckte Ziffern bedeuten Ergebnisse, die durch stärkere Interpolation mit größern wahrscheinlichen Fehlern behaftet sind.)

| Profil | gezählte Schichten | interpolierte Schichten | Jahre |
|--------|--------------------|-------------------------|-------|
| IX | 541 = 67 % | 263 = 33 % | 804 |
| XI | 855 = 98 % | 15 = 2 % | 870 |
| XII | 590 = 71 % | 245 = 29 % | 835 |

Nicht weniger instruktiv sind Abschnitte, die als unzuverlässig nicht verwendet wurden, die aber den stärkern Einfluß ausgiebig verwendeter Interpolation zeigen:

| Zeit u. Profil | gezählte Schichten | interpolierte Schichten | Jahre |
|----------------|--------------------|-------------------------|-------|
| EMW XII | 1805 = 95 % | 95 = 5 % | 1900 |
| XI | 415 = 28 % | 1040 = 72 % | 1455 |
| Spätgl. XII | 2335 = 95 % | 115 = 5 % | 2450 |
| XI | 397 = 19 % | 1645 = 81 % | 2042 |

Ist es nicht verwunderlich, daß bei den ungeheuerlichen Interpolationen von 72 und 81 % aller Schichten der Fehler gegenüber der durchgehenden Zählung bloß rund $\frac{1}{5}$ ausmacht?

Alle Ergebnisse an Abschnitten mit Interpolationen sind, verglichen mit den Ergebnissen an den entsprechenden durchgezählten Abschnitten, etwas zu klein.

Da zur Aufstellung des chronologischen Systems fast nur Abschnitte mit weniger als 25 % interpolierten Schichten (meist mit weniger als 10 %) verwendet wurden, dürften durch die In-

terpolation nach sorgfältiger Aufstellung höchstens Fehler von 100—200 Jahren auf der ganzen vorchristlichen Ära entstanden sein; diese Fehler sind, wenn man sie berücksichtigen will, zu addieren.

3. Frage: Wie ist der Anschluß an die christliche Zeitrechnung zu gewinnen? Die im dargelegten Sinne zuverlässigen Zählungen reichen von zuunterst bis hinauf in die 3. Buchenzeit (im Profil IX, Abb. 11, zwischen 7 und 8 m). Nachher sind nur noch sehr spärliche Anhaltspunkte über die Schichtdicken bei Profil IX und XI vorhanden.

Es gibt eine recht voraussetzungslose Art, den fehlenden Zeitraum abzuschätzen. Da bei aller Zufälligkeit des Sedimentwachstums im Kleinen doch ein gewisses Zuwachsgesetz im Großen angenähert erfüllt ist, also ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen Schichttiefe und Alter besteht, genügt es, dem Gesetz folgend, eine graphische Extrapolation vorzunehmen. Diese ist in Abb. 23 ausgeführt. Der Tiefenmaßstab ist so gewählt (im Original $y = 10^{T/10} - 1$, worin T = Tiefe in m; y in cm), daß sich die Zuwachskurve (besonders im letzten Abschnitt) einer Geraden nähert, weil so die Extrapolation linear und damit zuverlässiger erfolgen kann. Mit nur ganz wenigen Jahrhunderten Unsicherheit schneidet man so im Oberflächenniveau des Moores die Zeitachse bei ca. 9500 Jahren (vom Beginn des Faulenseemooses an gerechnet). Setzt man jetzt in Übereinstimmung mit den rezenten Feststellungen an diesen Schnittpunkt die Jahreszahl 1920 der Trockenlegung des Moores, dann erhält man für den Beginn der Zählung (Oberkante des blauen Lehms, Beginn des 2. Weidenzeitabschnittes) das Jahr 7580 vor Christi Geburt.

Die Art und Weise dieser Extrapolation erinnert stark an die Extrapolation, durch die Lidén (1938) den Anschluß seiner Warvenzählungen in Ångermanland an die christliche Zeitrechnung erreichte. Seine Zählungen reichten auch nur bis zum Jahre 922 nach Chr. An Stelle der Zuwachskurve in Faulensee konnte in Ångermanland die Landhebungskurve der Flußmündung zur Extrapolation verwendet werden. (Auch hier ist damit eine kleine Unsicherheit in die Ergebnisse aufgenommen worden, indem das Jahr 920 Lidéns mit dem Jahr 1018 der biochronologischen Kurven von Ebba Hult de Geer übereinstimmen soll.)

Da wir nun aber doch einige Anhaltspunkte über die Zuwachsverhältnisse der letzten 7—8 m besitzen, soll der Versuch einer Interpolation auch hier durchgeführt werden. Leider verteilen sich

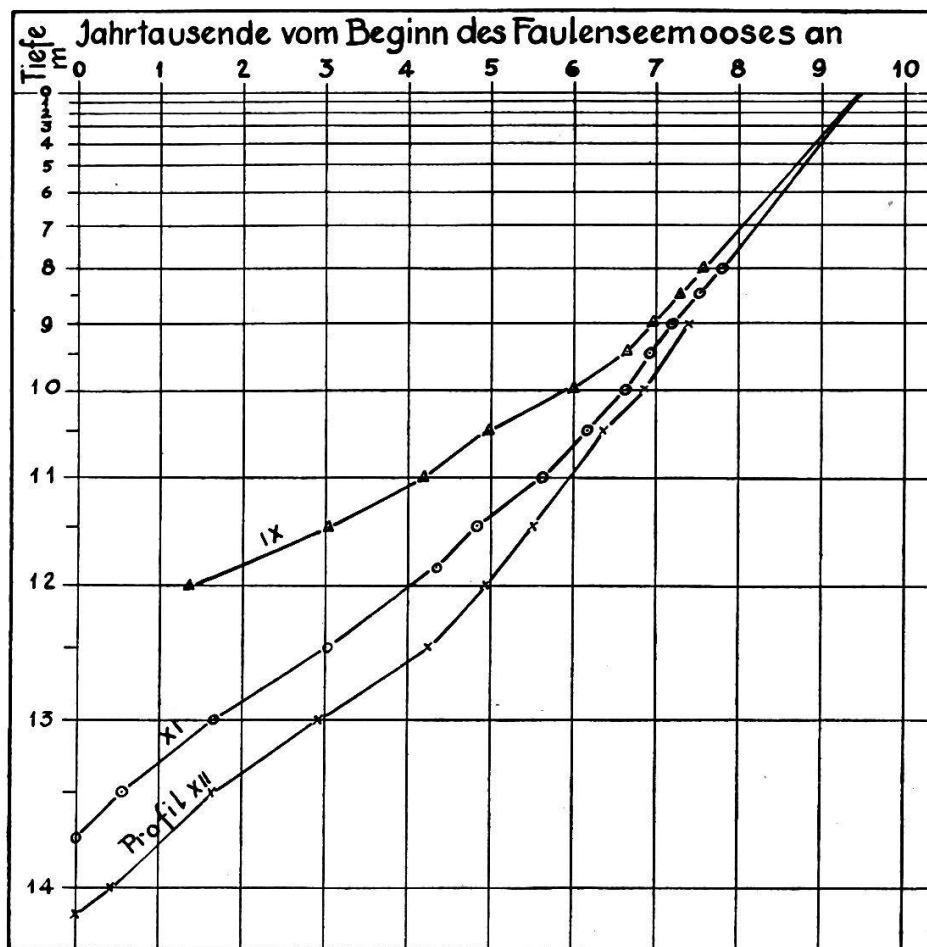


Abb. 23. Anschluß der Jahresschichtzählungen an die christliche Zeitrechnung: Extrapolation der Zuwachskurve dreier Profile auf die Jetztzeit.

die rund 15 Messungen nicht gleichmäßig über die ganze Strecke. Deshalb ist bei der Interpolation stark Rücksicht genommen worden auf die Bohrprotokolle und die Materialanalysen. Indem man die Schichtzahl pro Dezimeter Sediment aufträgt und über die unbekannten Strecken unter Beachtung des Sedimentmaterials interpoliert, erhält man etwa eine Kurve, wie sie in Abb. 24 dargestellt ist. Jetzt braucht man nur die Kurvenfläche planimetrisch auszumessen, so kennt man für die ganze Fläche oder Teilstücke davon die angenäherte Zahl der umfaßten Jahre. Die Ergebnisse sind in der Abb. 24 und im Zählprotokoll zum Profil IX festgehalten. Sie liefern von der Tiefe 776 cm (die mit dem Zähljahr

7695 des Profils XI zu parallelisieren ist) bis zur Oberfläche 1775 Jahre. Damit erhält die Oberfläche das Zähljahr 9470. Setzt man es dem Jahr 1920 der christlichen Zeitrechnung gleich, so kommt der Beginn der Zählung auf das Jahr 7550 v. Chr. zu liegen. Mit-

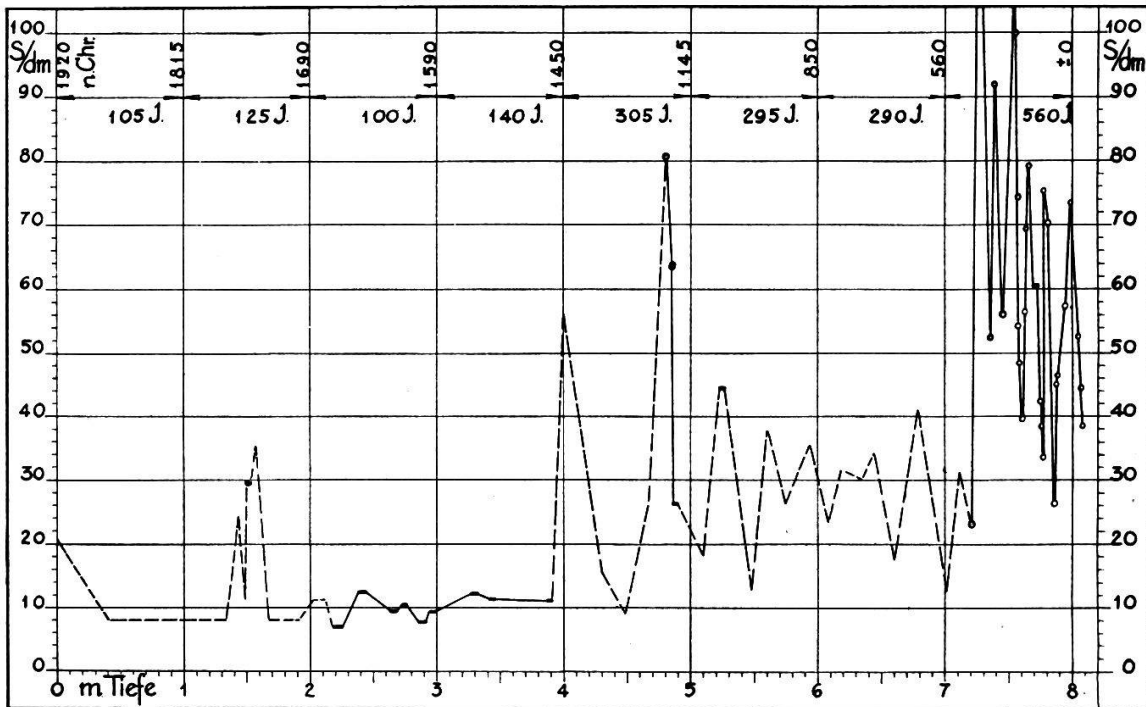


Abb. 24. Anschluß der Jahresschichtzählungen an die christliche Zeitrechnung: die Auswertung der spärlichen Schichtzählungen im nachchristlichen Zeitabschnitt (in Profil IX, 0—8 m Tiefe). Die Kurve stellt die Schichtzahl pro dm Sedimenthöhe dar. Dicke Striche und Kreise: Meßergebnisse. Zusammenhängende Verbindungslinien: ± sichere Interpolationen. Gestrichelte Linien: ± unsichere Interpolationen unter Berücksichtigung der Sedimentanalysen. Die Ergebnisse der Planimetrierung der einzelnen Meter-Abschnitte sind oben hingeschrieben, ebenso die zugehörigen Jahreszahlen.

hin reicht der Abschnitt der zuverlässigen Zählungen von rund 7600 v. Chr. bis zum Jahr 0 (Chr. Geb.) oder ziemlich zuverlässig bis zum Jahr 500 n. Chr.

Es ist schwer, sich über die Zuverlässigkeit dieser beiden Zeitbestimmungen, die sich doch wohl eher zufällig so nahe decken, ein genaues Bild zu machen. Immerhin befinden wir uns in einem Gebiet derart raschen Zuwachses, daß kleine Details der Interpolation wenig Einfluß haben. Wir werden sehen, daß trotz einer gewissen Unsicherheit die ausgeführte Ergänzung durch verschiedene Tatsachen kontrolliert und verifiziert werden kann (s. S. 141).

Frage 4: Sind fortlaufende Dickenmessungen der einzelnen Schichten durchgeführt worden? Die Zählungen und Messungen konnten bei den geringen Schichtdicken unmöglich für jede Schicht einzeln durchgeführt werden. Stets wurden ganze Schichtserien zusammen gemessen, bei durchgehender Schichtung vereinzelt Serien von 10, meistens aber solche von 50 Schichten. Es wäre wohl interessant gewesen, an einzelnen Stellen genaue Einzelschichtmessungen vorzunehmen und im Sinne der Telekonnektionen de Geers auswerten zu lassen. Vielleicht kann das später nachgeholt werden.

Nach der Erledigung dieser Vorfragen kann zu den Zählungen selbst übergegangen werden. In den nachfolgenden Zähltabellen bedeuten *kursiv* gedruckte Zahlen in der Kolonne der interpolierten Schichten Zahlen, die natürliche Schichtlücken schließen und naturgemäß mit einem größern wahrscheinlichen Interpolationsfehler behaftet sind als die Interpolationsfehler der künstlichen Schichtlücken. In der letzten Kolonne, wo die fortlaufenden Summen der Schichten notiert sind, bedeuten senkrechte Ziffern Schicht- und Jahreszahlen mit Nullpunkt an der Oberkante des blauen Lehms, *kursiv* gedruckte Zahlen solche mit einem je nach Bedarf später angesetzten Nullpunkt. Die senkrechten Zahlen geben also Jahre nach Beginn des Faulenseeins an und stellen einen Versuch einer lokalen Zeitskala ähnlich derjenigen de Geers in Schweden oder Sauramos in Finnland dar.

| A | B | C | D | E | F | G | H |
|---------------------------|------|--------|----|----|------|----|------|
| Kiefernzeit | 5530 | 1333,1 | 20 | 50 | | | 2020 |
| | 5480 | 1331 | 21 | 50 | | | 2070 |
| | 5430 | 1328,8 | 22 | 50 | | | 2120 |
| | 5380 | 1326,5 | 23 | 50 | | | 2170 |
| | 5330 | 1324,5 | 20 | 50 | | | 2220 |
| | 5280 | 1322,9 | 16 | 50 | | | 2270 |
| | 5230 | 1320,9 | 20 | 50 | | | 2320 |
| | 5180 | 1318,8 | 21 | 50 | | | 2370 |
| | 5130 | 1316,7 | 21 | 50 | | | 2420 |
| | 5080 | 1315 | 17 | 50 | | | 2470 |
| Eichen - Mischwald - Zeit | 5030 | 1313,3 | 17 | 50 | | | 2520 |
| | 4980 | 1311,3 | 20 | 50 | | | 2570 |
| | 4930 | 1309,4 | 19 | 50 | | | 2620 |
| | 4880 | 1307,8 | 16 | 50 | | | 2670 |
| | 4830 | 1306,2 | 16 | 50 | | | 2720 |
| | 4780 | 1304,9 | 13 | 50 | | | 2770 |
| | 4730 | 1303,5 | 14 | 50 | | | 2820 |
| | 4680 | 1301,8 | 17 | 50 | | | 2870 |
| | 4630 | 1300 | 18 | 50 | 1300 | | 2920 |
| | 4625 | 1299,8 | 2 | | | 5 | 2925 |
| | 4575 | 1298,3 | 15 | 50 | | | 2975 |
| | 4525 | 1296,4 | 19 | 50 | | | 3025 |
| | 4475 | 1295 | 14 | 50 | | | 3075 |
| | 4425 | 1293,1 | 19 | 50 | | | 3125 |
| | 4375 | 1291,5 | 16 | 50 | | | 3175 |
| | 4325 | 1289,4 | 21 | 50 | | | 3225 |
| | 4275 | 1287,6 | 18 | 50 | | | 3275 |
| | 4225 | 1286,3 | 13 | 50 | | | 3325 |
| | 4175 | 1284,8 | 15 | 50 | | | 3375 |
| | 4125 | 1283,4 | 14 | 50 | | | 3425 |
| | 4075 | 1281,7 | 17 | 50 | | | 3475 |
| | 4025 | 1280,1 | 16 | 50 | | | 3525 |
| | 3975 | 1278,4 | 17 | 50 | | | 3575 |
| | 3925 | 1276,5 | 19 | 50 | | | 3625 |
| | 3875 | 1274,5 | 20 | 50 | | | 3675 |
| | 3825 | 1272,4 | 21 | 50 | | | 3725 |
| | 3775 | 1269,9 | 25 | 50 | | | 3775 |
| | 3725 | 1267,1 | 28 | 50 | | | 3825 |
| | 3675 | 1265 | 21 | 50 | | | 3875 |
| | 3625 | 1262,8 | 22 | 50 | | | 3925 |
| | 3575 | 1260,6 | 22 | 50 | | | 3975 |
| | 3525 | 1258,6 | 20 | 50 | 1100 | | 4025 |
| | 3455 | 1255,9 | 27 | | | 70 | 4095 |
| | 3405 | 1254,1 | 18 | 50 | | | 4145 |
| | 3355 | 1252,2 | 19 | 50 | | | 4195 |
| | 3305 | 1250,4 | 18 | 50 | 150 | | 4245 |
| | 3285 | 1249,5 | 9 | | | 20 | 4265 |
| | 3260 | 1247,7 | 18 | 25 | | | 4290 |
| | 3210 | 1244,4 | 33 | 50 | | | 4340 |
| | 3160 | 1241,3 | 31 | 50 | | | 4390 |
| | 3110 | 1238,5 | 28 | 50 | | | 4340 |
| | 3060 | 1235,2 | 33 | 50 | | | 4490 |
| | 3010 | 1232,1 | 31 | 50 | | | 4540 |
| | 2960 | 1229 | 31 | 50 | | | 4590 |
| 1. Buchen-zeit | | | | | | | |

| A | B | C | D | E | F | G | H |
|---------------|------|--------|-----|----|-----|-----|------|
| 1. Buchenzeit | 2910 | 1225 | 40 | 50 | | | 4640 |
| | 2860 | 1221,7 | 33 | 50 | | | 4690 |
| | 2810 | 1217,8 | 39 | 50 | | | 4740 |
| | 2760 | 1212,4 | 54 | 50 | | | 4790 |
| | 2710 | 1207,4 | 50 | 50 | 575 | | 4840 |
| | 2605 | 1199,2 | 82 | | | 105 | 4945 |
| | 2555 | 1196,1 | 31 | 50 | | | 4995 |
| | 2505 | 1193,1 | 30 | 50 | 100 | | 5045 |
| | 2295 | 1181,5 | 116 | | | 210 | 5255 |
| | 2245 | 1178,9 | 26 | 50 | 50 | | 5305 |
| | | 1149,1 | 298 | | | ? | |
| | | 1148,5 | 6 | 10 | | | |
| | | 1145,2 | 33 | 50 | | | |
| | | 1141,2 | 40 | 50 | | | |
| | | 1138 | 32 | 50 | | | |
| | | 1134,5 | 35 | 50 | 210 | | |
| | | 1099,8 | 347 | | | ? | |
| | | 1098,7 | 11 | 15 | 15 | | |
| | | 1093,3 | 54 | | | 60 | |
| | | 1091,5 | 18 | 10 | | | |
| | | 1089,3 | 22 | 25 | | | |
| | | 1087,8 | 15 | 25 | | | |
| | | 1086,2 | 16 | 25 | | | |
| | | 1084,3 | 19 | 25 | | | |
| | | 1081,8 | 25 | 25 | | | |
| | | 1079,8 | 20 | 25 | 160 | | |
| | | 1048,2 | 316 | | | ? | |
| | | 1046,8 | 14 | 10 | 10 | | |
| | | 1045,3 | 15 | | | 10 | |
| | | 1043 | 23 | 18 | 18 | | |
| | | 1026,2 | 168 | | | ? | |
| | | 1021,8 | 44 | 25 | | | |
| | | 1018,4 | 34 | 25 | | | |
| | | 1014,7 | 37 | 25 | | | |
| | | 1010,6 | 41 | 25 | 100 | | |
| | | 1005,4 | 52 | | | 35 | |
| | | 1001,7 | 37 | 25 | 25 | | |

Zusammenfassung

| Zeitraum | von bis | cm | total mm | gezählte Jahre | interpolierte Jahre | total Jahre |
|---|------------|----|----------|-------------------|------------------------|-------------|
| Spätglazial bis und mit 1. Buchenzeit | 1414,3 | | | | | |
| | 1181,5 | | 2328 | 4730 (90 %) | 525 (10 %) | 5255 |

Tabelle über die Jahresschichtenzählungen im Profil XI.

(aufgenommen am 12., 16. und 17. April 1940)

(Die Bedeutung der Kolonnen A—H ist aus dem Zählprotokoll
Profil XII ersichtlich.)

| A | B | C | D | E | F | G | H | | |
|---|--|-----------------------|------|--------------------|----|-----|------|--|---|
| Weidenzeit Hipp. Bi. Kiefernzeit | 1. Ab. 2. Abschnitt 3. Ab. | 1. Teil: Spätglazial. | | | | | | | |
| | | 1374,2 | | | | | 0 | | |
| | | 1372,2 | (20) | (12) | | | 40 | | |
| | | 1369,4 | 28 | | | | 40 | | |
| | | 1368,6 | 8 | 11 | | | 51 | | |
| | | 1366,6 | 20 | | | | 86 | | |
| | | 1365,7 | 9 | 20 | | | 106 | | |
| | | 1364,3 | 14 | | | | 131 | | |
| | | 1363,1 | 12 | 15 | | | 146 | | |
| | | 1358,4 | 47 | | | | 251 | | |
| | | 1357,6 | 8 | 25 | | | 276 | | |
| | | 1355,1 | 25 | | | | 346 | | |
| | | 1354,5 | 6 | 14 | | | 360 | | |
| | | 1341,2 | 133 | | | | 625 | | |
| | | 1340 | 12 | 20 | | | 645 | | |
| | | 1336,1 | 39 | | | | 705 | | |
| | | 1334,8 | 13 | 20 | | | 725 | | |
| | | 1334,3 | 5 | | | | 735 | | |
| | | 1333 | 13 | 20 | | | 755 | | |
| | | 1327,3 | 57 | | | | 855 | | |
| | | 1324,7 | 26 | 50 | | | 905 | | |
| | | 1314,1 | 106 | | | | 1110 | | |
| | | 1311,5 | 26 | 50 | | | 1160 | | |
| | | 1311 | 5 | | | | 1170 | | |
| | | 1308,8 | 22 | 50 | | | 1220 | | |
| | | 1295,4 | 134 | | | | 1540 | | |
| | | 1293,8 | 16 | 40 | | | 1580 | | |
| | | 1285,5 | 83 | | | | 1820 | | |
| | | 1284,2 | 13 | 42 | | | 1862 | | |
| | | 1277,2 | 70 | | | | 2022 | | |
| | | 1275,7 | 15 | 20 | | | 2042 | | |
| | | EMW-Zeit | | 2. Teil: EMW-Zeit. | | | | | |
| | | | | | | | | | 0 |
| 1266 | 97 | | | | | 125 | 125 | | |
| 1264,3 | 17 | | | 21 | | | 146 | | |
| 1261,9 | 24 | | | | | 40 | 186 | | |
| 1260,9 | 10 | | | 20 | | | 206 | | |
| 1233,9 | 270 | | | | | 485 | 691 | | |
| 1228,3 | 56 | | | 90 | | | 781 | | |
| 1226,9 | 14 | | | | | 20 | 801 | | |
| 1224,1 | 28 | | | 44 | | | 845 | | |
| 1206,7 | 174 | | | | | 305 | 1150 | | |
| 1203,6 | 31 | | | 60 | | | 1210 | | |
| 1200 | 36 | | | | | 65 | 1275 | | |
| 1197,5 | 25 | | | 40 | | | 1315 | | |
| 1194,5 | 30 | | | 50 | | | 1365 | | |
| 1191,4 | 31 | | | 50 | | | 1415 | | |
| 3200 | 1188 | | | 34 | 40 | 180 | 1455 | | |

| A | B | C | D | E | F | G | H |
|--------------------|------------------------------------|--------|-----|----|-----|-----|------|
| 1. Buchenzeit | 3. Teil: Vom Ende der EMW-Zeit an. | | | | | | |
| | 3190 | 1187,2 | 8 | 10 | | | 4350 |
| | 3140 | 1183,3 | 39 | 50 | | | 4360 |
| Tannenzeit | 3090 | 1180 | 33 | 50 | | | 4410 |
| | 3040 | 1176,6 | 34 | 50 | | | 4460 |
| | 2990 | 1172,9 | 37 | 50 | | | 4510 |
| Mischwald Bu-Ta-Fi | 2940 | 1168,1 | 48 | 50 | | | 4560 |
| | 2890 | 1163,4 | 47 | 50 | | | 4610 |
| | 2840 | 1159,4 | 40 | 50 | | | 4660 |
| | 2790 | 1154,6 | 48 | 50 | | | 4710 |
| | 2740 | 1151 | 36 | 50 | 460 | | 4760 |
| | 2725 | 1150 | 10 | | | 15 | 4810 |
| | 2685 | 1147,1 | 29 | 40 | | | 4825 |
| | 2635 | 1143 | 41 | 50 | | | 4865 |
| | 2585 | 1140,2 | 28 | 50 | | | 4915 |
| | 2535 | 1136,2 | 40 | 50 | | | 4965 |
| | 2485 | 1131,6 | 46 | 50 | | | 5015 |
| | 2435 | 1128,2 | 34 | 50 | | | 5065 |
| | 2385 | 1125,5 | 27 | 50 | | | 5115 |
| | 2335 | 1122,7 | 28 | 50 | | | 5165 |
| | 2285 | 1120 | 27 | 50 | | | 5215 |
| | 2235 | 1117,3 | 27 | 50 | | | 5265 |
| | 2185 | 1114,2 | 31 | 50 | | | 5315 |
| | 2135 | 1111,2 | 30 | 50 | 590 | | 5365 |
| | 1935 | 1100 | 112 | | | 200 | 5415 |
| | 1905 | 1098,6 | 14 | 30 | | | 5465 |
| | 1855 | 1094,9 | 37 | 50 | | | 5515 |
| | 1805 | 1092,1 | 28 | 50 | | | 5565 |
| | 1755 | 1088,4 | 37 | 50 | | | 5615 |
| | 1705 | 1085,3 | 31 | 50 | | | 5645 |
| | 1655 | 1081,3 | 40 | 50 | | | 5695 |
| | 1605 | 1077,8 | 35 | 50 | | | 5745 |
| | 1555 | 1071,7 | 61 | 50 | | | 5795 |
| | 1505 | 1065 | 67 | 50 | | | 5845 |
| | 1455 | 1059,5 | 55 | 50 | 480 | | 5895 |
| | 1415 | 1054,8 | 47 | | | 40 | 5945 |
| | 1385 | 1051,4 | 34 | 30 | 30 | | 5995 |
| | 1370 | 1049,8 | 16 | | | 15 | 6045 |
| | 1330 | 1045,5 | 43 | 40 | | | 6095 |
| | 1280 | 1040,3 | 52 | 50 | | | 6135 |
| | 1230 | 1034,5 | 58 | 50 | | | 6165 |
| | 1180 | 1029 | 55 | 50 | | | 6180 |
| | 1130 | 1024,7 | 43 | 50 | | | 6220 |
| | 1080 | 1019,7 | 50 | 50 | 290 | | 6270 |
| | 1070 | 1018,7 | 10 | | | 10 | 6320 |
| | 1010 | 1012,4 | 63 | 60 | 60 | | 6370 |
| | 975 | 1008 | 44 | | | 35 | 6420 |
| | 945 | 1003,8 | 42 | 30 | 30 | | 6470 |
| | 915 | 999,5 | 43 | | | 30 | 6480 |
| | 895 | 996,6 | 29 | 20 | 20 | | 6540 |
| | 890 | 995,5 | 11 | | | 5 | 6575 |
| | 870 | 992,2 | 33 | 20 | 20 | | 6605 |
| | 850 | 989,3 | 29 | | | 20 | 6635 |
| | | | | | | | 6655 |
| | | | | | | | 6660 |
| | | | | | | | 6680 |
| | | | | | | | 6700 |

| A | B | C | D | E | F | G | H |
|----------------------|------|-------|------|----|-----|------|------|
| | 800 | 981,1 | 82 | 50 | | | 6750 |
| | 750 | 971,4 | 97 | 50 | | | 6800 |
| 2. Buchenzeit | 700 | 964 | 74 | 50 | | | 6850 |
| | 680 | 961,5 | 25 | 20 | 170 | | 6870 |
| | 610 | 948,7 | 128 | | | 70 | 6940 |
| | 555 | 937,5 | 112 | 55 | 55 | | 6995 |
| | 540 | 933,8 | 33 | | | 15 | 7010 |
| | 530 | 930,5 | 33 | 10 | 10 | | 7020 |
| | 522 | 927,7 | 28 | | | 8 | 7028 |
| | 515 | 925,5 | 22 | 7 | 7 | | 7035 |
| | 510 | 924,1 | 14 | | | 5 | 7040 |
| | 490 | 919,2 | 49 | 20 | 20 | | 7060 |
| | 485 | 918,2 | 10 | | | 5 | 7065 |
| | 475 | 916,2 | 20 | 10 | 10 | | 7075 |
| | 450 | 912,2 | 40 | | | 25 | 7100 |
| | 390 | 903,2 | 90 | 60 | 60 | | 7160 |
| Mischwald Bu-Fi-Ta | 285 | 889,2 | 140 | | | 105 | 7265 |
| | 270 | 887,5 | 17 | 15 | 15 | | 7280 |
| | 190 | 873,5 | 140 | | | 80 | 7360 |
| | 130 | 862 | 115 | 60 | 60 | | 7420 |
| | 40 | 852,9 | 91 | | | 90 | 7510 |
| | 30 | 851,5 | 14 | 10 | 10 | | 7520 |
| | —20 | 848,6 | 29 | | | 10 | 7530 |
| | —10 | 844 | 46 | 10 | 10 | | 7540 |
| | — 6 | 842,5 | 15 | | | 4 | 7544 |
| | +40 | 829 | 135 | 46 | | | 7590 |
| | +102 | 819 | 100 | 62 | 108 | | 7652 |
| | +106 | 818,1 | 9 | | | 4 | 7656 |
| | 145 | 813 | 51 | 39 | 39 | | 7695 |
| | 295 | 794,8 | 182 | | | 150? | 7845 |
| | 307 | 793,5 | 13 | 12 | 12 | | 7857 |
| 3. Buchen-Z. | 319 | 791,6 | 19 | | | 12 | 7869 |
| | 327 | 790 | 16 | 8 | 8 | | 7877 |
| | 336 | 788,7 | 13 | | | 9 | 7886 |
| | 343 | 788 | 7 | 7 | 7 | | 7893 |
| | 413 | 781,8 | 62 | | | 70 | 7963 |
| | 423 | 781 | 8 | 10 | 10 | | 7973 |
| | | 507 | 2740 | | | ? | |
| | | 505,1 | 19 | 12 | 12 | | |
| Nachchristl. Abschn. | | 504,1 | 10 | | | 7 | |
| | | 502 | 21 | 18 | 18 | | |
| | | 340,6 | 1614 | | | ? | |
| | | 337 | 36 | 4 | 4 | | |
| | | 324 | 130 | | | 15 | |
| | | 320,5 | 33 | 4 | 4 | | |
| | | 289 | 315 | | | 30 | |
| | | 279 | 100 | 8 | | | |
| | | 265 | 140 | 15 | 23 | | |
| | | 0 | 2650 | | | ? | |

Zusammenfassung

| Zeitraum | von bis | cm | total mm | gezählte Jahre | interpolierte Jahre | total Jahre |
|---|------------------|----|----------|-------------------|------------------------|---------------|
| 1. Teil Spätglazial | 1372,2 1275,7 | | 965 | 397 | 1645 | 2042 |
| 2. Teil EMW | 1275,7 1188 | | 877 | 415 | 1040 | 1455 |
| 3. Teil 1. Bu. inkl. 3. Bu. exkl. | 1188 813 | | 3750 | 2554 76 % | 791 24 % | 3345 100 % |

Tabelle über die Jahresschichtenzählung in Profil IX.

(aufgenommen am 22. Juli 1939, ergänzt am 12. April 1940)

(Die Bedeutung der Kolonnen A—H ist aus dem Zählprotokoll
Profil XII ersichtlich.)

| A | B | C | D | E | | G | H |
|---------------|-------------------------|--------|----|-----|--|----|-----|
| 1. Buchenzeit | 1. Teil: 1. Buchenzeit. | | | | | | |
| | 3200 | 1095 | | | | | 0 |
| | 3189 | 1094,3 | 7 | | | 11 | 11 |
| | 3053 | 1087 | 73 | 136 | | | 147 |
| | 3011 | 1083,8 | 32 | | | 42 | 189 |
| | 2993 | 1081,5 | 23 | 18 | | | 207 |
| | 2950 | 1077,4 | 41 | | | 43 | 250 |
| | 2934 | 1076,2 | 12 | 16 | | | 266 |
| | 2932 | 1076 | 2 | | | 2 | 268 |
| | 2888 | 1071,5 | 45 | 44 | | | 312 |
| | 2857 | 1068,5 | 30 | | | 31 | 343 |
| | 2803 | 1063,5 | 50 | 54 | | | 397 |
| | 2799 | 1063,2 | 3 | | | 4 | 401 |
| | 2699 | 1056 | 72 | 100 | | | 501 |
| | 2690 | 1055,2 | 8 | | | 9 | 510 |
| | 2680 | 1054 | 12 | 10 | | | 520 |
| | 2666 | 1052,7 | 13 | | | 14 | 534 |
| | 2656 | 1052 | 7 | 10 | | | 544 |
| | 2626 | 1049,8 | 22 | | | 30 | 574 |
| | 2616 | 1049 | 8 | 10 | | | 584 |
| | 2585 | 1046,1 | 29 | | | 31 | 615 |
| | 2575 | 1045 | 11 | 10 | | | 625 |
| | 2567 | 1044,2 | 8 | | | 8 | 633 |
| | 2546 | 1042 | 22 | 21 | | | 654 |
| | 2537 | 1041,2 | 8 | | | 9 | 663 |
| | 2482 | 1037 | 42 | 55 | | | 718 |
| | 2448 | 1035 | 20 | 34 | | | 752 |
| | 2419 | 1033,3 | 17 | | | 29 | 781 |
| | 2396 | 1032 | 13 | 23 | | | 804 |

| A | B | C | D | E | | G | H |
|--|------|-------|------|----|-----|---|------|
| 2. Teil: rezente Abschnitte. | | | | | | | |
| 3. Bu. Z. | | 722,2 | | | | | |
| | | 720 | 22 | 5 | | | |
| | | 570,7 | | | | | |
| | | 568 | 27 | 3 | | | |
| 4. Bu. Z. | | 525,5 | | | | | |
| | | 525 | 5 | 2 | | | |
| | | 489,1 | | | | | |
| | | 485 | 41 | 11 | | | |
| | | 388,7 | | | | | |
| letzte | | 386 | 27 | 3 | | | |
| Buchen- | | 266,4 | | | | | |
| Misch- | | 261 | 54 | 5 | | | |
| wald-Z. | | 243 | | | | | |
| | | 235 | 80 | 10 | | | |
| | | 225,5 | | | | | |
| | | 215 | 105 | 7 | | | |
| | | 149,4 | | | | | |
| | | 148 | 14 | 4 | | | |
| | 1920 | 0 | | | | | |
| 3. Teil: graph. Interpolation und Auswertung von Abb. 24 für die rezenten Abschnitte. | | | | | | | |
| | 0 | 800 | | | | | 7550 |
| 2. Bu. Z. | 145 | 776 | 240 | | 145 | | 7695 |
| Mischw. | 559 | 700 | 760 | | 414 | | 8109 |
| | 849 | 600 | 1000 | | 290 | | 8399 |
| 4. Bu. Z. | 1144 | 500 | 1000 | | 295 | | 8694 |
| | 1451 | 400 | 1000 | | 307 | | 9001 |
| letzte | 1590 | 300 | 1000 | | 139 | | 9140 |
| Buchen- | 1689 | 200 | 1000 | | 99 | | 9239 |
| Misch- | 1814 | 100 | 1000 | | 125 | | 9364 |
| wald-Z. | 1920 | 0 | 1000 | | 106 | | 9470 |

c) Verknüpfung der Zählprofile und zusammenfassender Ueberblick.

Die Ergebnisse der Schichtzählungen im Faulenseemoos sind den entsprechenden Profilen in Jahreszahlen der christlichen Zeitrechnung beigeschrieben. Die Verknüpfung der drei Zählabschnitten erfolgte auf Grund von pollenanalytischen Ergebnissen, von stratigraphischen Befunden und von Zuwachsvergleichen und darf als gesichert betrachtet werden, da die verwendeten Zählabschnitte sehr weit übereinandergreifen. Folgende Übersicht gibt Aufschluß über die verwendeten Profilstücke:

| Jahre | Profil | Abschnitt |
|---------------------------|--------|----------------|
| 7550 v. Chr.—3200 v. Chr. | XII | 1414,3—1244 cm |
| 3200 v. Chr.— 145 n. Chr. | XI | 1188 — 813 cm |
| 145 n. Chr.—1920 n. Chr. | IX | 776 — 0 cm |

Wenn in andern Profilstücken oder Profilen Zeitangaben stehen, so sind sie stets nur auf Grund von Parallelisationen den hier aufgeführten Abschnitten entnommen worden. Infolge unvollständiger pollenanalytischer Untersuchung der letzten zwei Profile XI und XII können als datierte Bezugsprofilstücke gelten:

| | |
|--|------------|
| für das Spätglazial | Profil XII |
| für (Spätglazial) und EMW-Zeit | Profil XI |
| für 1. Buchenzeit und jüngere Abschnitte | Profil IX |

Als Abschluß dieser Untersuchungen sei eine datierte und zugleich graphische Übersicht über die Waldgeschichte der Faulenseeegend aufgestellt, der einige geschichtliche und vorgeschichtliche Daten beigegeben seien.

Das auf zeitlich richtige Abstände umgezeichnete und etwas vereinfachte Pollendiagramm ist auf der linken Seite der Abb. 25 dargestellt. Es möge als Durchschnittsdiagramm vom Faulenseemoos gelten, obwohl Durchschnitte nirgends gerechnet wurden: es ist einfach zusammengesetzt aus den Diagrammen XII, XI und IX. (Dieses Durchschnittsrechnen ist übrigens ein bedenkliches Unterfangen, solange nicht gleich dicht untersuchte Diagramme durchwegs guten Erhaltungszustandes vorliegen.)

Waldgeschichte, christl. Zeitrechnung, Vorgeschichte.

| | | | | |
|------|-------------------------------------|--------------------|--|------|
| 1920 | 4. Buchenmischwaldzeit Fi-Bu-Ta | 2000 | Eidgenossenschaft | 1291 |
| 1250 | 4. Buchenzeit | | | |
| 850 | 3. Bu. Mischw. Z. : Bu-Fi-Ta | 1000 n. Chr. | Burgunder Franken Burgunder | 741 |
| 600 | 3. Buchenzeit | | | 413 |
| 200 | 2. Buchenmischwaldzeit: Bu-Fi-Ta | 0 v. Chr. | Römer | 50 |
| 450 | 2. Buchenzeit | | La Tène-Zeit | 500 |
| 750 | 1. Buchenmischwaldzeit: Bu-Ta Fi | 1000 | Hallstatt-Zeit | 800 |
| 1800 | Tannenzeit | 2000 | Bronzezeit | 1900 |
| 2350 | 1. Buchenzeit | | jüngeres Neolithikum (Pfahlbauten etc.) | |
| 3200 | EMW Eichen- mischwald | 3000 | älteres Neolithikum | 3000 |
| 4300 | EMW + Ha. | 4000 | Spätcamp.? | |
| 4750 | Ha. + EMW Hasel- Zeit | | Mesolithikum | |
| 5050 | sek. Bi. Anstieg | 5000 | Spättard.? | 5000 |
| 5400 | Kiefer Kiefern- Zeit | | Jung- Frültard.? Azilien? | |
| 6000 | Bi. + Ki. | 6000 | | |
| 6350 | Birkenzeit | | paläo- | |
| 6630 | Hippophaë | | | |
| 6750 | 3. Abschn. Weiden- Zeit | 7000 | | |
| 7150 | 2. Abschn. | | lithikum | |
| 7550 | 1. Abschn. Gletscherrückzug | 8000 | Magdalenien | |

**d) Die Chronologie des Spät- und Postglazials von Faulensee
verglichen mit den bisherigen Anschauungen.**

Vom Standpunkt der bisherigen Anschauungen aus betrachtet, wird man zwei verschiedene Feststellungen machen:

- aa) Die jüngern Abschnitte, etwa vom Ende der EMW-Zeit an, stimmen gut bis sehr gut mit den heute geltenden Ergebnissen überein.
- bb) Die ältern Abschnitte scheinen viel zu kurz herausgekommen, wenn man mit den heutigen und voneinander sehr abweichenden Anschauungen vergleicht.

Dementsprechend gliedere ich meinen Vergleich.

aa) Die jüngern Abschnitte (3200 v. Chr. bis 1920 n. Chr.).

1. Die prähistorisch datierten Zeiten des Neolithikums (ca. 3000 bis 1900 v. Chr.) und der Bronzezeit (ca. 1900—800 v. Chr.) liegen im Pollendiagramm dort, wo sie nach Untersuchungen verschiedener Forscher liegen sollen. Härri (1940) fand, daß die neolithischen Siedlungen im Wauwilermoos in der 1. Buchenzeit und der Tannenzeit liegen; spätneolithische Siedlungen reichen bis an das Ende der Tannenzeit; der Buchengipfel wird mit der wahrscheinlichen Jahrzahl 2500 v. Chr. datiert. Da dieser Abschnitt im Pollendiagramm demjenigen in Faulensee bis ins Detail gleicht, halte ich die beiden für synchron. (Ganz wie in Wauwil, kann es auch in Faulensee vor der ersten Buchenzeit zu einem meist nur randlich im Moor feststellbaren Tannengipfelchen kommen.) Das Zusammenfallen des prähistorisch datierten Endes des Neolithikums mit meinem Jahr 1800 v. Chr. verifiziert aufs schönste den Anschluß meiner Jahresschichtenzählungen an die Jetztzeit.

Fast ebenso eindrucklich fällt der Vergleich mit den Untersuchungen von Lüdi (1935) aus dem Gebiet des Großen Mooses aus. Auch er findet, daß das Neolithikum mit dem Ende der Tannenzeit aufhört. Allerdings ist für das Große Moos keine 1. Buchenzeit nachgewiesen; der EMW wird von einer langen Tannenzeit abgelöst. Trotzdem dürfte der Rückgang der Tanne zeitlich mehr oder weniger zusammenfallen.

2. Ob das Zusammentreffen stärkerer Ausbreitung der Fichte im Norden (Fromm, 1938) um das Jahr 1000 v. Chr., im Tirol

(Sarnthein, 1940) um schätzungsweise dieselbe Zeit und im Faulenseemoos ebenfalls in jener Zeit auf demselben klimatischen Einfluß (erhöhte Kontinentalität?) beruht, ist ernsthaft in Erwägung zu ziehen da die Fichte in allen Fällen schon lange vorher in jenen Gegenden vorhanden gewesen war. Die Übereinstimmung spricht jedenfalls zugunsten der Faulensee-Chronologie.

3. Die von Granlund (1932) angegebenen und datierten fünf Rekurrenzflächen, d. h. Wachstumsstillstandshorizonte im Torf, fallen mit einer Ausnahme mit ausgeprägt einschwemmungsarmen Zeiten des Faulenseemooses zusammen (relativ sehr starke Produktion von organischer Substanz hat uns schon früher auf warme Zeiten schließen lassen). Man kontrolliere in Profil IX, Abb. 11, folgende Angaben Granlunds:

| | | |
|-----------------|---------------------|-------------------|
| Rekurrenzfläche | I | ca. 1200 n. Chr.* |
| » | II | ca. 400 n. Chr. |
| » | III (Grenzhorizont) | ca. 600 v. Chr. |
| » | IV | ca. 1200 v. Chr. |
| » | V | ca. 2300 v. Chr. |

Rekurrenzfläche IV ist in Faulensee nicht ausgeprägt, aber auch wenig in Schweden; möglicherweise wäre sie besser zwischen 1300 und 1400 v. Chr. einzusetzen. Alle vier andern Rekurrenzflächen müßte man nach den Faulenseemoosprofilen gerade dort einsetzen, wo sie sind. Es sind so ziemlich die vier einzigen Stellen, wo bei schwacher Toneinschwemmung und verminderter Seekreidebildung ungewöhnlich starke Bildung von organischer Substanz erfolgt. Wahrscheinlich ist in diesen warmen und trockenen Zeiten in Faulensee so viel organische Substanz gebildet worden, daß von einer Oxydation beim Sedimentieren nicht mehr die Rede sein konnte. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die in diesem Sinne verlaufende massivste Entwicklung in der 2. Buchenzeit aufs schönste mit der am besten ausgebildeten Rekurrenzfläche III des wohlbekannten Grenzhorizontes zeitlich zusammenfällt. Wenn Schubert (1933) feststellt, daß der jüngere Sphagnumtorf in der Zeit von 500—900 n. Chr. von Schlick übertragen zu werden beginnt, so erkennen wir das Entsprechende dazu in den um die gleiche Zeit in Faulensee stärker werdenden Einschwemmungen.

* Nach Nilsson (1935) um 1200—1300 n. Chr.; eine weitere Rekurrenzfläche ums Jahr 0.

4. Die Seehochstände des Neuenburgersees, die L ü d i (1935) untersucht und pollenanalytisch und prähistorisch fixiert hat, stimmen im wesentlichen mit einschwemmungsreichen Zeiten des Faulenseemooses überein:

| Seehochstände des Neuenburgersees | Einschwemmungsreiche Zeiten im Faulenseemoos |
|--------------------------------------|---|
| Mittlere Föhrenzeit | Profil XI, 1298 cm |
| Ende Haselzeit | » XI, 1225 cm |
| Ende EMW-Zeit | » XI, 1192 cm |
| Zur neol. Pfahlbauzeit | » IX, 1180 cm |
| In der jüngern Bronzezeit | » IX, 970—920 cm |
| Ende La-Tène-Zeit | » IX, 830 cm |
| Ende Römerzeit | » IX, 700 cm |
| Nachrömische Zeit mehrfach | » IX, 660—heute |

Das meist gute Zusammenfallen mit der richtigen Zeit spricht für Zuverlässigkeit der chronologischen Aufstellung.

Auf einen kürzern Zeitabschnitt beschränkt, jedoch mit ähnlich guter Übereinstimmung passen sich die von K ö p p e n und W e g e n e r (1924) genannten Seestände des Kaspischen Meeres in das chronologische Schema von Faulensee:

| | |
|---------------------------------|---|
| Kaspisches Meer (1877 = normal) | Faulensee: |
| um 920 n. Chr. 8 m höher | einschwemmungsreiche 4. Buchenzeit |
| 12. Jahrhundert 5 m tiefer | wohl entsprechend der Trockenzeit bei Profil IX, 480 cm |
| 1306—07, 11 m höher | stärkste Einschwemmung der ganzen Postglazialzeit bei Profil IX, 450 cm |
| 1815, 2 m höher | etwas erhöhte Einschwemmung Profil IX, 100 cm. |

5. G a m s und N o r d h a g e n (1923) geben eine Reihe von Angaben über das Klima der Vorzeit, das sie auf Grund von geschichtlichen Ereignissen rekonstruieren. In vielen Fällen finden sich schöne Parallelen zu den Beobachtungen im Faulenseemoos, obwohl einige der von den beiden Forschern damals gezogenen Schlüsse heute revisionsbedürftig sind:

| | |
|--|---|
| Gams und Nordhagen 1923: | Faulensee: |
| Klassische Zeit von 850—120 v. Chr. soll kühl-feucht ge- wesen sein | Zeit mit starken Einschwem- mungen, jedoch auch mit Trockenzeit |
| Gallo-römische Zeit 120 v. Chr. bis 180 n. Chr.: trockener | trockener! |
| Byzantinisch-frühgerman. Zeit 180—350 n. Chr.: Regenperiode vermutet | nicht ausgeprägt, eher trocken |
| Völkerwanderungszeit 350—550 n. Chr.: Trockenzeit! | stimmt, sehr trocken! |
| Arabisch-karolingische Zeit 600—900 n. Chr.: ozeanisch | vermehrte Niederschläge bei er- höhter Wärme! |
| Kreuzzüge bis 1090 ozeanisch, um 1220—30 kontinental | stimmt in diesem Sinne gut |
| Renaissance — Entdeckungen — Reformation 1250—1550: mehrfache Trockenperioden. | stimmt, jedoch nur bis ca. 1500. |

6. Leider sind wir über die Gletschervorstöße und die Rückzugsbewegungen in der frühern historischen und der prähistorischen Zeit so gut wie im Dunkel. Kinzl (1932) hat die historisch bekannten Bewegungen zusammengestellt: Wohl der größte historische Vorstoß erfolgte zwischen 1595 und 1644. Er ist als Folge jener niederschlagsreichsten Jahresfolge des Postglazials in Profil IX zwischen 380 und 290 cm am rechten Platz. Wenig kleiner sollen die Vorstöße von 1820 (z. T. 1818) und 1850 (z. T. 1856) gewesen sein. Der erste findet sein Entsprechendes im niederschlagsreichen Abschnitt von 130—100 cm im Profil IX; weiter oben sind im Profil IX, Abb. 11 und 12 keine Sedimentanalysen durchgeführt worden, da sie infolge ihrer oberflächlichen Lage unzuverlässig würden. Die Spuren früherer Vorstöße sind jedenfalls, da sie kleiner waren als jener von 1600, durch diesen mehr oder weniger ausgetilgt worden. Denn es ist nach Profil IX ohne weiteres zu erwarten, daß ein wenig kleinerer Vorstoß zwischen 1100 und 1200 n. Chr. stattgefunden hat, es sei denn, daß das wahrscheinliche Plus dieses Abschnittes an Wärme das Niederschlagsplus kompensiert habe. Aus vorgeschichtlicher Zeit wären Gletscherhochstände ums Jahr 100 v. Chr. und um 700—600 v. Chr. zu erwarten.

7. Relativ schwierig, doch eines Versuches wert ist der Vergleich unseres datierten Diagramms mit dem wohl besten und neuesten datierten Diagramm des Nordens, demjenigen von Fromm (1938) aus Ångermanland. Beide Diagramme sind in Abb. 25 auf Grund der unabhängig voneinander gefundenen Zeitskala nebeneinander gezeichnet. Es ist selbstverständlich schwierig, die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung von Diagrammen nachzuweisen, deren Komponenten ganz verschiedene Baumarten sind. Im vorliegenden Fall aber, wo die ganze spät- und postglaziale Entwicklung verglichen werden kann, fallen gewisse gemeinsame Züge auf: Ist der Beginn des Eisfreiwerdens von Ångermanland um 6700 v. Chr. wirklich nur ganz zufällig gleichzeitig mit dem Beginn der stärkern Vegetationsentwicklung und der Bewaldung in Faulensee? In beiden Fällen handelt es sich um Stationen, die eine mittlere Lage zwischen dem Ausgangsgebiet der Vergletscherung und dem Rand der größten Ausdehnung einnehmen. Wohl ist Faulensee etwas früher eisfrei geworden als Ångermanland; aber dieselbe offensichtliche Klimabesserung, die in Faulensee von der Weidenzeit zur Birkenzeit überführt, dürfte im Norden (nicht weniger natürlich bei uns!) zu einem raschen Eisrückzug geführt haben, so daß die Möglichkeit einer ungefähren Gleichzeitigkeit ohne weiteres besteht.

Sind bei mehr oder weniger gleichartigem Baumartenbestand das Birkenmaximum um 6500 v. Chr. und der Hauptkieferngipfel (Anzylusmaximum) um 5900—6000 v. Chr. nur rein zufällig gleichzeitig? (Tiefstand der Birkenkurve!)

Findet der sekundäre Birkenanstieg nicht auch im Norden sein Entsprechendes?

Ist der Beginn der Wärmezeit nicht in beiden Fällen genau gleich datiert? Im Norden fällt er mit dem Übergang Anzylussee/Litorinameer zusammen und zeigt erst starke Erlenzunahme, dann starke Birkenzunahme und sehr bald auch Spuren der EMW-Gehölze. Die Kulmination der Wärmezeit fällt im Norden in die Zeit des höchsten *Betula*-Maximums um 4200 v. Chr.; in Faulensee sind um 4200—4300 v. Chr. die Einschwemmungen in einem Tiefpunkt für die EMW-Zeit angelangt, die Haselzeit ist abgeklungen, die Tannen- und Buchenbeimischung ist noch im Minimum, der Eichenmischwald also am reinsten.

Mit dem Jahr 3200 v. Chr. ist in Ångermanland die übernormale

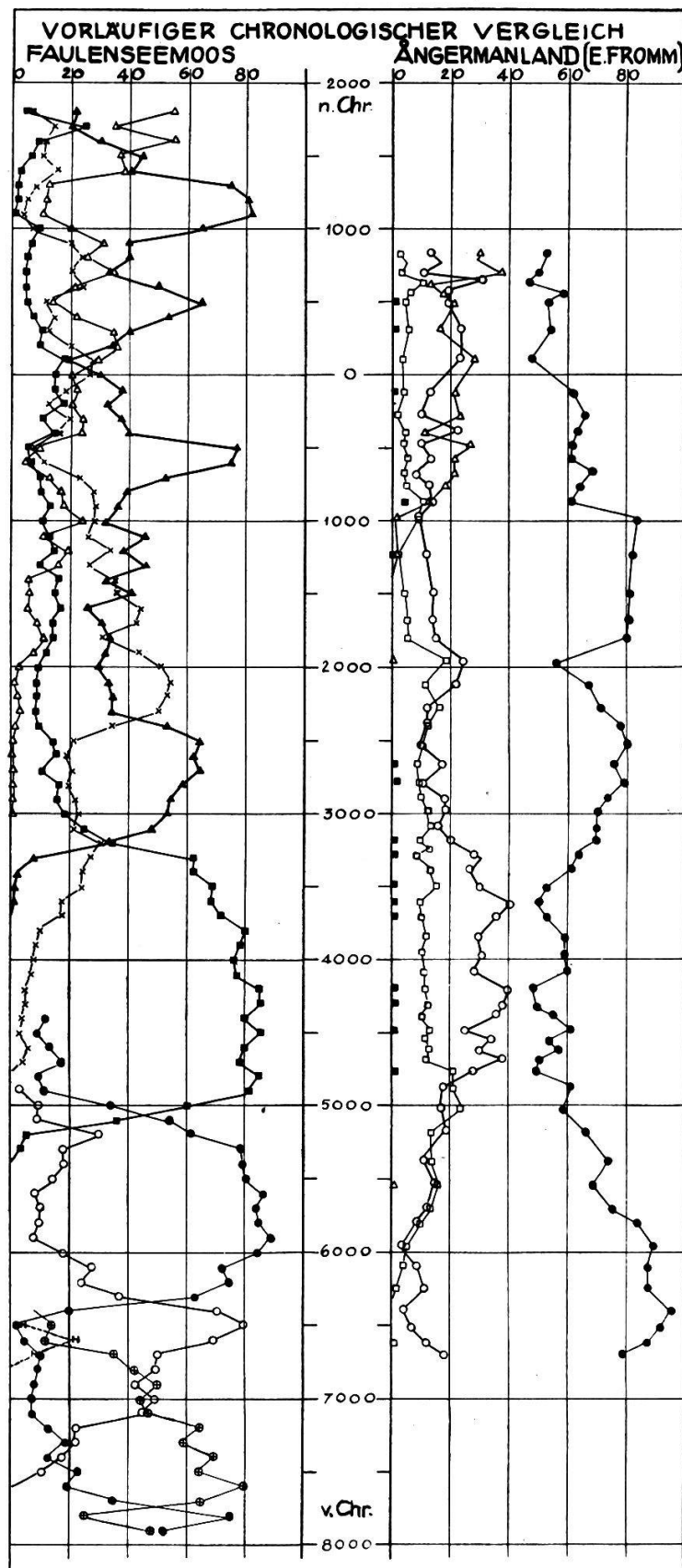


Abb. 25. Vorläufiger pollenanalytisch-chronologischer Vergleich Mitteleuropa-Nordeuropa. Verschiedene kleine Einzelheiten sind weggelassen.

Birkenbeimischung zu Ende; von 3600 an ist sie zurückgegangen. Etwa von 3700 an werden in Faulensee die Tannen häufiger und erscheinen die ersten Buchen; um 3200 kommt es zum Dominanzwechsel EMW/Buche-Tanne.

«Um 2200—1900 v. Chr. erscheint wieder ein *Betula-Maximum*, vielleicht ein wärmeres Klima andeutend» (Lidén, 1938, S. 380). In diese Zeit fällt unsere Tannenzeit, jene einmalige und markante Erscheinung am Ende unseres Neolithikums.

Daß die erste stärkere Fichtenausbreitung im Norden (vom Jahr 1000 v. Chr. an) mit der stärkern Fichtenausbreitung und der zweiten Buchenzeit in Faulensee und der Zeit der Ausbildung des Grenzhorizonts zusammenfällt, beruht wohl auf der gleichen klimatischen Bedingtheit.

Es wäre wohl verfrüht, in der weiteren Waldentwicklung detaillierte Synchronisierungen vornehmen zu wollen. Aus dem Gesagten kann man sich des Eindrucks einer bemerkenswerten Übereinstimmung in der Waldentwicklung und der Chronologie nicht erwehren.

bb) Die ältern Abschnitte (vor 3200 v. Chr.).

1. Die Unsicherheit in der ältern Chronologie fängt schon zur EMW-Zeit an. Diese beginnt (zusammen mit der oft abgetrennten Haselzeit) am Anfang der Wärmezeit, in Faulensee und im Norden übereinstimmend um 5000 v. Chr. (evtl. Einsetzen des ersten Klimabesserungsanstieges um 5400). Es erscheint mir verfrüht, irgendwelche Zeitunterschiede Mitteleuropa/Nordeuropa für das erste Auftreten wärmeliebender Gehölze herauslesen zu wollen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sprechen gegen die Richtigkeit der als Arbeitshypothese zu betrachtenden Berechnungen von Firbas (1934) über die Wanderungsgeschwindigkeit wärmeliebender Gehölze. In einer neuern Zusammenfassung neigt Firbas (1939) denn auch zur Auffassung Rudolphi (1930), wonach eine lange vorausgehende sporadische Verbreitung und eine nachfolgende klimatisch bedingte, fast explosionsartige und mehr oder weniger gleichzeitige Entwicklung stattgefunden habe.

Aus der Entwicklungsrichtung dieser Ansichten geht logischerweise eine Verkürzung der vermutlichen Dauer der Wärmezeit hervor. Denn, wenn sie in Mitteleuropa nicht meh-

rere Jahrtausende früher begonnen hat als im Norden, so ist sie auch hier nicht wesentlich länger als im Norden. Es handelt sich ja ohnedies nicht um gleiche Wärmegrade und gleiche Ausprägungen in der Vegetation, also etwa um eine vorübergehende Entwicklung warmer mitteleuropäischer Wälder im Norden, sondern lediglich um deutlich erkennbare Einflüsse eines wärmeren Klimas auf die bestehende Holzartenmischung, wobei Komponenten, die vorher nur sporadische Verbreitung besaßen, nachweisbar bis dominant wurden. Dabei kann eine *Wanderung von Einzelarten* vorgetäuscht werden: dann nämlich, wenn man als Kriterium für die Verbreitungsgrenze einen relativen Holzartenanteil von 20, 10, 5, 2% usw. setzt (wenn man also, um mit Szafer, 1935, zu sprechen, Isopollen-Linien betrachtet); eine starke Vorverschiebung solcher Isopollen-Linien um mehrere hundert Kilometer kann theoretisch bei flachem Prozentgradienten dadurch hervorgerufen werden, daß jeder Baum des Verbreitungsgebietes an seinem Wuchsort selbst oder sogar 100 m nach rückwärts drei neue Baumindividuen entstehen läßt. Beachtlich ist, daß bei genügend starker klimatischer Änderung eine derartige Scheinwanderung nur den Zeitraum bis zur Blühfähigkeit der neuen Baumgeneration beansprucht, also vielfach nur 30—50 Jahre. In Wirklichkeit ist natürlich neben dieser äußerst wirkungsvollen *Scheinwanderung* die *wirkliche Wanderung* durch Ausbreitungssprünge im Sinne von Firbas am Werk gewesen. Ja, beide Wanderungen haben sich unterstützt, die gesteigerte Individuendichte die Ausbreitungssprünge häufiger gestaltet und die Wahrscheinlichkeit größerer Sprünge erhöht, die wirkliche Wanderung die Grundlage für die Zunahme der Individuendichte geschaffen. Was wir mit der Pollenanalyse allein verfolgen können, ist, entgegen einer noch stark verwurzelten Auffassung, die Zunahme der relativen Individuendichte, verbunden mit einer klimatisch geförderten Blühvitalität. Die umstrittenen sporadischen Einzelvorkommnisse und Frühvorkommnisse wird die Pollenanalyse kaum je zuverlässig feststellen können, da der Fernflug jede endgültige Aussage verunmöglicht. Deshalb hat es die Pollenanalyse stets nur mit den vielleicht noch launenhafteren, jedoch viel effektvolleren *Scheinwanderungen* zu tun, die jeglicher Betrachtung unter dem Gesichtspunkt der Wanderungsgeschwindigkeit spotten. Die Veränderlichkeit der Isopollen-Linien hat deshalb

nicht geringeres pflanzengeographisches Interesse. Aus ihrer Lage darf aber nur in Gebieten mit steilen Prozentgradienten auf die Lage der Nullprozentgrenze, d. h. die Lage der letzten Einzelvorkommen, extrapoliert werden.

Ebenfalls im Sinne einer Verkürzung der Wärmezeit zu deuten ist die Bemerkung von G r o ß (Döhlauerwald, Ostpreußen; 1935): «übliche Datierung des Haselmaximums in Mitteleuropa 7000 v. Chr., hier aber eher um 6000 v. Chr.»

Angesichts solcher Unsicherheiten in der Datierung des Beginns der Wärmezeit hält man sich doch wohl am besten an die Feststellungen in Nordeuropa, denen übereinstimmende Ergebnisse von Faulensee an die Seite zu stellen sind. Der B e g i n n d e r W ä r m e z e i t um 5000, evtl. 5400 v. Chr. scheint mir deshalb genügend gesichert.

Damit ist aber auch das Ende des Spätglazials (im Sinne von F i r b a s, 1935) bestimmt. Es sei aber entgegen der Ansicht von F i r b a s festgestellt, daß auch im Norden die Ausbreitung einer mehr Wärme erfordernden Vegetation nicht schon zur Zeit des Eistrückzugs von den fennoskandischen Endmoränen erfolgt (um ca. 8000 v. Chr.), sondern viel später. (Vgl. z. B. H y y p p ä, 1936; F r o m m, 1938.)

Für eine starke Verkürzung der frühen postglazialen und der spätglazialen Abschnitte spricht sich vom Standpunkt des Prähistorikers aus auch M e n g h i n (1931) aus. Er glaubt, daß das Ende der Eiszeit resp. der Beginn der Erteböllestufe (die der ältern Litorinazeit entspreche) um 4000 oder höchstens 5000 v. Chr. anzusetzen sei. Er ist auch der Meinung, daß das Spätglazial wesentlich zu verkürzen sei. Die noch etwas weiträumigere Auffassung O b e r m a i e r s (1925) ist wohl auf Grund der geochronologischen Ergebnisse aus dem Norden revisionsbedürftig.

2. Im Verlauf des mitteleuropäischen Spätglazials ist der Übergang von der Weidenzeit zur Birkenzeit mehrfach als wald- und klimageschichtliches Ereignis ersten Ranges hingestellt worden, am eindrucklichsten vielleicht von O b e r d o r f e r (1937). Ist es bloßer Zufall, daß die Datierung dieses Ereignisses in Faulensee, nämlich ca. 6600—6700 v. Chr., zusammenfällt mit der Datierung der letzten Eisreste in Ångermanland (L i d é n, 1938) um 6600 v. Chr. und mit der de Geerschen Datierung des Endes der Finiglazialzeit um ca. 6700 v. Chr.? Vom Standpunkt dieser Parallel-

erscheinungen aus gesehen, rechtfertigt sich der Abschluß der Finiglazialzeit um 6700 v. Chr. vollkommen: das glaziale Übergangsklima verschwindet. Nilsson E. (1938) glaubt im Becken von Nakuru in der Keniakolonie zur gleichen Zeit ein Absinken des Wasserspiegels und ein Auftreten äolischer Sedimente festzustellen und hält damit die letzte Pluvialzeit Afrikas für abgeschlossen. Wenn auch die Datierung der zuletzt erwähnten Erscheinung auf den mit einem gewissen Vorbehalt hinzunehmenden Telekonnectionen nach de Geer beruht, so liegen doch Anzeichen dafür vor, daß um 6700 v. Chr. eine weitverbreitete Klimabesserung stattgefunden hat, die scharfe Änderungen im Sedimentmaterial und seinem Fossilgehalt mit sich brachte. Diese Änderung ist in den letzten Jahren mehrfach beschrieben worden (Bertsch, 1932; Firbas, 1935; Oberdorfer, 1937; Lüdi, 1939 a; Härrí, 1940 u. a.). Da sie stets fast plötzlich erfolgt und eine lange Tundrenperiode vorausgeht, die wohl eine gewisse Entwicklung zeigt, aber keinen allmählichen Übergang zur Birkenzeit, die auch die schon vorhandenen Großbirken keineswegs zu allmählich dichterem Schluß bringt, halte ich diese Änderung für synchron, weil durch das Allgemeinklima bedingt.

Eine ähnlich wichtige klimabedingte und wohl weitverbreitete Erscheinung, die bei genauerer Erforschung Synchronisierungen erlauben wird, ist im Norden als Halt bei den fennoskandischen Endmoränen ausgeprägt. Der Rückzug vom zweiten Salpausselkä dürfte nach neuern Untersuchungen Sauramos (1934) auf 7950 v. Chr. fallen. Von ihm aus datiert Sauramo seine Warwenzählungen in Finnland. Der Abschnitt vom Stand der Vergletscherung bei den fennoskandischen Endmoränen bis zur Bipartition des Inlandeises wird als Finiglazial bezeichnet; de Geer rechnet ihn zu 1073 Jahren; Sauramo beginnt etwas früher und rechnet ihn zu 1250 Jahren. Es erscheint nun abermals sehr beachtlich und über bloßen Zufall hinausgehend, daß die Weidenzeit im Faulenseemoos rund 1000 Jahre umfaßt. Ich stehe deshalb nicht an, das Eisfreiwerden des Faulenseegebietes mit dem ersten raschen Rückzug von den Salpausselkä-Stadien zu parallelisieren. Die entsprechenden Stillstandsmoränen dürften diejenigen von

Strättligen-Thun und Jaberg-Wichtrach sein (Beck, 1938). Beck hat auf Grund der theoretisch bestimmten Schneegrenzendepression (Beck, 1926) dieses Stadium dem Bühlstadium Pencks gleichgesetzt.

Es ist trotz der Unsicherheit in der Bestimmung der Schneegrenzendepression wahrscheinlich, daß diese Gleichsetzung richtig ist. Beim Jaberg-Wichtrach-Stadium handelt es sich ja, der relativen Lage zum Gletscherende entsprechend, um ein frühes Rückzugsstadium der Würmvergletscherung. Ich möchte noch etwas weiter gehen und das Muristadium zeitlich ganz kurz (vielleicht nur einige Jahrhunderte) vor die beiden Stadien von Jaberg und Thun stellen. Pollenanalytische Untersuchungen aus dem Vielbringenmoos, hart außerhalb der Murimoränen, zeigen ein derart gut mit Faulensee übereinstimmendes spätglaziales Pollendiagramm, daß von einem wesentlich frühern Einsetzen der Pflanzenbedeckung nicht gesprochen werden kann. Auch sind die Toneinschwemmungen im ersten Weidenzeitabschnitt von Vielbringen derart mächtig und weich, daß die Annahme der Gletschernähe für diese Zeit wohlbegründet ist, zumal im gleichen Gebiet später Toneinschwemmungen überhaupt fehlen. Es ist übrigens wohl möglich, daß die drei Stadien Muri, Jaberg und Thun zeitlich relativ eng zusammengehören und insgesamt vom Berner Stadium viel weiter abstehen als unter sich; denn die Reduktion der Eisdecke von ihrem Maximum von 550 m bei Thun auf ca. 150 m zur Zeit des Muristadiums dürfte viel längere Zeit beansprucht haben als das Wegschmelzen dieses relativ geringfügigen Rests von Muri bis Interlaken. Entsprechend hat ja Sauramo (1929) in Finnland vor den Salpausselkä-Stadien einen jährlichen Gletscherrückzug von ca. 60 m, nachher einen solchen von 260 m und mehr festgestellt.

Gegen eine derartige radikale Heranschiebung der genannten Rückzugsstadien an die Gegenwart sprechen die neuesten Untersuchungen Beck's (1938), die einen Versuch darstellen, die Glazialphänomene in die astrophysikalischen Berechnungen und Ergebnisse von Milankovitch (1930) einzufügen. Da sich die heutigen Ansichten über die Dauer der Vergletscherungserscheinungen sehr stark (z. T. fast ausschließlich) auf die Zahlen von Milankovitch stützen, sei auf einige Punkte näher eingegangen.

Die gesetzmäßig gefaßte Änderung der drei astronomischen Elemente der Exzentrizität der Erdbahn, der Schiefe der Ekliptik und der Länge des Perihels hat Milankovitsch zur Aufstellung und Berechnung der Strahlungskurven für die letzten Jahrhunderttausende und verschiedene geographische Breiten der nördlichen und südlichen Halbkugel benutzt. Selbstverständlich ist die gewaltige mathematische Leistung nur im Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit vollführt worden, zahlreiche Erscheinungen des Quartärs und der Gegenwart und Zukunft unter neuem und einheitlichem Gesichtspunkt betrachten und zusammenfassen zu können. Doch hat sich gerade Milankovitsch alle wissenschaftliche Zurückhaltung auferlegt in bezug auf die Anwendung seiner Ergebnisse auf die klimatischen Erscheinungen des Quartärs. Wir tun auch heute noch gut, respektvolle Distanz zu beobachten zwischen den Strahlungskurven von Milankovitsch und den Versuchen der Einpassung der Quartärererscheinungen in diese Ereignisse. Folgendes sind die Gründe, die mir eine kritische Einstellung nahelegen:

Erstens: die periodisch wiederkehrenden Strahlungsschwankungen lassen vorläufig so zahlreiche Strahlungsschwankungen erkennen, daß eine Koordinierung mit einer kleinen Zahl von Eiszeiten unmöglich scheint. Es müßte sich schon ein weiterer modifizierender Faktor finden, der gewisse Ausschläge der Strahlungskurve kompensiert, vor allem die Wirkung der weiter zurückliegenden Strahlungsschwankungen aufhebt.

Zweitens: Die allgemein anerkannte postglaziale Wärmezeit findet in den Strahlungskurven von Milankovitsch nichts Entsprechendes. Der Zeitabschnitt von 5000—2500 v. Chr. (nach der Jahreszählung von Milankovitsch 6800—4300) liegt im bereits stark abgeklungenen Ast einer Klimaschwankung mit wärmeren Sommern und kühleren Wintern als heute, einer Schwankung, die ums Jahr 9300 v. Chr. (11100 Milankovitsch-Jahre) kulminierte. Diese Inkongruenz ist wenigstens ein Hinweis darauf, daß das Klima durch weitere, bisher nicht erfaßte Faktoren beeinflusst wird, die stärker sind als der Faktor der Strahlungsschwankung nach Milankovitsch. In dieser Erkenntnis haben Köppen und Wegener (1924) und Beck (1938) andere Faktoren für die Erklärung der Entstehung von Eiszeiten gesucht und genannt. So nimmt Köppen eine Polverlagerung auf

Nordeuropa hin an, die sich verspätet zurückgebildet hat, wodurch das Wärme-Maximum tatsächlich in den angegebenen Zeitabschnitt verlagert wird. Beck (1937) hat die Strahlungsschwankungen nach Milankovitch ebenfalls als unzureichend befunden für die Erklärung der intensiven Vergletscherungserscheinungen und nimmt mit der Strahlung koordinierte Niederschlagsschwankungen zu Hilfe.

Drittens: Eine große Schwierigkeit für die Zuordnung der Gletschervorstöße zu den Strahlungsschwankungen liegt darin, daß allen Abnahmen sommerlicher Temperaturen Zunahmen der winterlichen Temperaturen entsprechen, allen Abnahmen winterlicher Temperaturen Zunahmen der sommerlichen. Köppen ordnet die Eisvorstöße den Zeiten mit kühleren Sommern zu; Beck glaubt, die Zeiten kühler Sommer erzeugten, die Zeiten kalter Winter erhielten die Gletscher. Bei dieser primären Unsicherheit in der Deutung der Strahlungskurven ist einige Zurückhaltung am Platz.

Viertens: Abgesehen von diesen prinzipiellen Schwierigkeiten lassen sich auch gegen den neuesten Versuch der Einordnung quartärgeologischer Tatsachen in die Strahlungskurve, denjenigen Becks (1937, 1938), schwere Einwände erheben. Derjenige, der die Grundlagen des ganzen Systems trifft, ist der folgende: Die Umrechnung der Strahlungsschwankungen in lokale Temperaturschwankungen ist heute noch so gut wie unmöglich. Wenn auch Milankovitch eine Beziehung für diese Umrechnung gibt, so muß man beachten, daß sie unter der Voraussetzung einer homogenen Erdoberfläche und einer relativ zur Erde ruhenden Atmosphäre, also eigentlich nur für die zugestrahlte und nicht modifizierte Sonnenstrahlungsenergie gilt; die so errechneten Temperaturen werden kurz als «solare» bezeichnet; nur unter diesen Voraussetzungen läßt sich überhaupt eine Beziehung aufstellen (auf Grund des Stephanschen Gesetzes). Sie ist zudem nur im Mittel für das ganze Jahr gültig und darf entsprechend weder für das Sommerhalbjahr, noch für das Winterhalbjahr angewendet werden.

Milankovitch gibt (1930, S. 154) auch eine Beziehung, die erlaubt, die tatsächlich beobachtete Ortstemperatur und das Halbjahr bei der Berechnung der Temperaturänderung zu berücksichtigen. Dabei stellt sich heraus, daß sich die sommerlichen und

winterlichen Temperaturänderungen keineswegs mehr aufheben, daß also wirkliche Jahresmittelschwankungen entstehen müssen. Dessenungeachtet bleiben die berechneten Werte «solare» Temperaturen. Die wirklichen Temperaturänderungen sind stets viel kleiner als die solaren, weil die Störungen in der Atmosphäre (und in den Weltmeeren!) ausgleichend eingreifen; sie sind aber auch kein allgemein angebbarer Bruchteil, weil die Inhomogenitäten der Erdoberfläche, besonders die Verteilung von Land und Wasser und die Massenerhebung, jede gesetzmäßige Behandlung ausschließen.

Die Becksche Art der Anfügung der Schwankungen der solaren Temperaturen an die heutigen Ortstemperaturen läßt sich leicht ad absurdum führen. Fügt man die vermeintlichen Temperaturschwankungen der vermuteten Riß II-Vereisung (187500 M. J.) an die Lokaltemperaturen eines Ortes mit ozeanischem Klima, z. B. an diejenigen von Brest in Nordwestfrankreich, so wird der Januar wärmer als der Juli, obwohl die Strahlungsmenge für den ganzen Sommer in Wirklichkeit natürlich immer noch mehr als doppelt so groß ist als für den Winter. Und: Die Änderungen der Strahlung darf man nur dann nach dem Stefanschen Gesetz in Temperaturänderungen umrechnen, wenn auch zwischen den heutigen Grundwerten der Strahlung für Sommer und Winter einerseits und den Sommer- und Wintertemperaturen andererseits das Stephansche Gesetz gilt; das ist aber nicht der Fall: nach dem Stephanschen Gesetz müßten Sommer und Winter in Thun eine Temperaturdifferenz von 66° aufweisen; in Wirklichkeit beträgt die Sommertemperatur in Thun (April/September) im Mittel $14,2^{\circ}$ und die Wintertemperatur (Oktober/März) $+1,9^{\circ}$, die Differenz also nur gut 12° (weniger als ein Fünftel!). In ungefähr diesem Verhältnis sind alle Milankovitsch-Beckschen Temperaturänderungen zu reduzieren, wenn man von der Theorie zur örtlichen Anwendung für Thun übergehen will.

Wenn Beck findet und darin Recht hat, daß die von Milankovitsch dargelegten Strahlungsschwankungen höchstens genügen, eine Vereisung vom Ausmaß des Daun-, evtl. Gschnitz-Vorstößes auszulösen, so muß nach diesen Erörterungen ein wesentlicher Einfluß der fraglichen Strahlungsschwankungen auf die Vereisungserscheinungen geradezu bezweifelt werden.

Ob trotz diesen fundamentalen Schwierigkeiten die Strahlungsschwankungen nach Milankovitch wenigstens so wirksam waren, daß sie die aus andern Ursachen entstandenen Vereisungskimate so stark modifizierten, daß periodische und nach Milankovitch datierbare Schwankungen entstanden (wie es Köppen und Wegener, 1924, annehmen), scheint mir fraglich; als Arbeitshypothese ist aber diese Auffassung weiterhin zu prüfen. Am ehesten ist wohl die Milankovitch-Periodizität im Norden nachweisbar, wo infolge der höhern geographischen Breite die absoluten Strahlungsmengen, besonders im Winter, zwei- bis dreimal weniger betragen als auf 45° Breite, und wo infolgedessen Mehr- und Minderbeträge der Strahlung relativ viel wirksamer sind. Für das Milankovitch-Jahr 10 000 (8200 v. Chr.) ergeben sich z. B. folgende solare Temperaturänderungen (unter Berücksichtigung von Milankovitch, 1930, S. 154!):

| M. J. 10 000 | 45° Breite | 65° Breite |
|--------------|------------|------------|
| Sommer | + 3,0° C | + 2,9° C |
| Winter | — 6,3° C | — 11,6° C |

Der Norden erscheint auch deshalb labiler, weil eine Entleerung der nördlichen Ostsee aus isostatischen Gründen einem Vorrücken des kalten Binnenklimas Vorschub leisten könnte und Skandinavien allen Schwankungen der klimabedingten Faktoren der angrenzenden Meere (Golfstrom, kalte Strömungen) und polaren Luftmassen (Kaltluftmassen, Regenwinde) viel mehr ausgesetzt ist als unsere Gegenden. Es ist auch sehr bezeichnend, daß unsere Jahresmitteltemperatur mit den theoretischen Jahresmittelwerten von Milankovitch (1930, S. 80) fast genau übereinstimmt, während sie auf dem 65. Breitengrad in Skandinavien heute um 20° C gegenüber der Theorie zu hoch ist.

Auf Grund solcher Überlegungen halte ich dafür, daß möglicherweise die primären Ursachen der Vereisungen im Norden zu suchen sind und die Alpenvergletscherung sekundär (und primär) bedingt ist. Immerhin muß man auch die kosmischen Theorien der Vergletscherung im Auge behalten.

Hier kann vorläufig nur festgestellt werden, daß nach der vorliegenden Diskussion entgegen der bisherigen Ansicht das Milankovitch-Jahr 10 000 (8200 v. Chr.) einer kalten Klimaschwankung entsprechen dürfte, was mit den Beobachtungen am

Faulenseemoos übereinstimmt (entgegen der Behauptung eines extremen Wärmesteppenklimas durch Beck, 1938, S. 162), was aber auch dem Halt, bzw. Vorstoß bei den den Salpausselkä-Moränen besser entspricht als eine besonders warme Klimaphase. Diese Beobachtung für sich spricht allerdings noch keineswegs für die Anwendbarkeit der Strahlungsschwankungen von Milankovitch zur Datierung der Glazialphänomene. Sie zeigt aber auf, daß die Ergebnisse der Jahresschichtenzählungen in Faulensee den modernsten geologischen Datierungsversuchen nicht notwendig widersprechen.

Die hier dargelegte Parallelisierung des Eisrückzuges von den Salpausselkä-Stadien mit den Stadien von Jaberg und Thun spricht, sofern die geologische Gleichsetzung mit dem Bühlstadium Pencks als zuverlässig gelten kann, gegen die von Firbas (1935) aufgestellten Parallelisationen. Sie spricht damit auch gegen eine allzu weiträumige Auffassung der frühesten Spätglazialzeit, wie sie auch Sarnthein (1940) in Anlehnung an Firbas und Groß wiedergibt.

Das mit Faulensee verblüffend ähnliche spätglaziale Diagramm von Härry (1940) aus dem Wauwilermoos weist am Anfang der Birkenzeit ebenfalls jenen typischen Sprung von tonreichen, pollenarmen zu kalkreichen, pollenreichen Sedimenten auf (Härry, 1940, Abb. 12 und 21; im letzten Diagramm muß sich die Birkenzeit bei der Probe 48 oder 49 in sehr reduzierter Ausbildung finden). Ich parallelisiere diesen Sprung mit dem Ende der Finiglazialzeit um 6700 v. Chr. Da Wauwil hart innerhalb des äußersten Gürtels der inneren Jungmoränen (Killwangen) liegt, ist es seit dem letzten Würmhöchststand unvergletschert geblieben. Nach Beck (1938) müßte das kleine Becken von Wauwil seit 90 000—100 000 Jahren offene Wasserfläche gewesen sein, was angesichts der Verlandungsuntersuchungen Härrys als Ungeheuerlichkeit bezeichnet werden muß. Härry (1940, S. 35) ist selbst der Auffassung, daß die Weidenzeit dem Zürichstadium, die Birkenzeit dem Bühlstadium entspreche. Ich glaube, daß man die Birkenzeit kaum als regressives Stadium betrachten darf, da doch in ihr die Bewaldung einsetzt und die Pollenfrequenz emporschnellt. Dann kann aber das Bühlstadium nur in der Weidenzeit liegen, und zwar in den älteren Teilen des untersuchten Abschnittes; so liegt es

denn dort, wo es auch in Faulensee liegt, während das Zürichstadium mit seiner großen Gletschernähe die untersten, fast pollenleeren Schichten zurückgelassen haben dürfte, deren unteres Ende leider nicht erbohrt ist.

In ähnlicher Weise hält Oberdorfer (1931) dafür, daß im Schluchsee die Dryassedimente aus dem Interstadium Bühl-Gschnitz stammen. Danach fällt Gschnitz in die Kiefernzeit, Bühl in die Weidenzeit (evtl. davor).

In neuester Zeit ist auch in Finnland Hyypä (1936) für eine relativ frühe Bewaldung (vor 8000 v. Chr.) eingetreten; doch wird die Richtigkeit dieser Auffassung von Aario (1940) bestritten.

Am Schluß unserer Erörterungen über die Chronologie und Einordnung der spätglazialen Erscheinungen in den Alpen und ihre Parallelisierung mit entsprechenden Erscheinungen Nordeuropas sei eine schematische Übersicht erstellt, die die wesentlichsten Folgerungen aus den Untersuchungen in Faulensee zusammenfaßt. Es sei ausdrücklich betont, daß zahlreiche zeitliche Festlegungen, auch in Nordeuropa, als angenähert, z. T. als vorläufig zu betrachten sind.

Zusammenfassung und Versuch der zeitlichen Parallelisierung spätglazialer Erscheinungen in Mittel- und Nordeuropa.

| Christl. Zeitrech- nung | Pollenanalytische und geochronologische Ergebnisse Faulensee | Glazialgeologische Erscheinungen in den Alpen | Geologische und geochronologische Ergebnisse in Nordeuropa |
|-------------------------------|--|---|--|
| 5000 v. Chr. | sek. Bi. Anstieg | | Litorina |
| | Kiefer | Schluss- Daun? vereisung Gschnitz? | — — — ? — |
| 6000 | Bi + Ki | | Ancylus- See |
| | Birkenzeit | | |
| | Hipp. | | — Bipartition |
| 7000 | 3. Ab- schnitt | | Yoldia- Fini- glazial |
| | 2. Ab- schnitt | | Meer |
| | 1. Ab- schnitt Gletscherrückzug | Thun Jaberg | — Salpausselkä III ↓ — Salpausselkä II |
| 8000 | | | Baltischer |
| | | Muri ? | — Salpausselkä I |
| 9000 | | | Eissee |

VI. Sedimentation, Zuwachs und Moorstratigraphie.

Es ist angesichts einer relativ zuverlässigen Chronologie und einer ziemlich großen Zahl untersuchter Profile eine interessante Aufgabe, die Verlandungsverhältnisse des Faulenseeleins genauer zu studieren. Die jährliche limnische Sedimentation kann einer eingehenderen Prüfung unterzogen werden; die Zuwachsverhältnisse beim Übergang zum Flachmoor lassen sich genauer verfolgen; der jährliche Pollenniederschlag und seine säkulare Änderung lassen sich in erster Näherung beurteilen; die zeitliche Erfassung der Verlandung gibt den Schlüssel zum Verständnis und zur richtigen Beurteilung von Pollendiagrammen aus andern verlandeten Gewässern.

a) Der jährliche Zuwachs der Sedimente und seine Abhängigkeit von der Wassertiefe und vom Klima.

In qualitativer Hinsicht zeigt das Faulenseemoos eine ganz normale Sedimentfolge: blaue Seemergel, Seekreide (Kalkgyttja), Flachmoortorf. Eine Weiterentwicklung zu einem Hochmoor fehlt dagegen so gut wie ganz (im hintern Teil des Moores Spuren), weil der zentrale Teil bis in die Neuzeit offene, verlandende Wasserfläche darstellte. Die Nivellierung der Mooroberfläche (siehe Abb. 26) ergibt denn heute noch eine tiefste, nasse Stelle im zentralen Teil, während die Mooroberfläche beim Ausfluß im Osten ungefähr 80 cm höher liegt. Es ist wahrscheinlich, daß sich die ganze Mooroberfläche infolge der künstlichen Entwässerung etwas gesenkt hat, wobei sich die jungen zentralen Sedimente stärker setzten als die alten randlichen. Infolgedessen funktioniert auch das Entwässerungssystem in der Mitte etwas mangelhaft und eine *Juncus*-reiche Übergangswiese kennzeichnet schon äußerlich jene tiefste Stelle. Die relativ stark ansteigende westliche Hälfte des Moores verdankt ihr allmähliches Ansteigen auf 5 m über die tiefste Stelle einem lokalbedingten starken Flachmoorwachstum infolge von Grundwasseraustritt aus den nördlichen Hängen. In den westlichen Teilen des Moores erreicht der Flachmoortorf 2—3 m Mächtigkeit, in den zentralen und östlichen Teilen dagegen nur 50 cm bis 1 m (einzig in der Nähe des untern Querweges 1 m 50 cm, offenbar infolge eines relativ lange dort stehenden

Ufers mit einer gewissen Belastung durch Ufergehölze, Begehung und Weganlage oder infolge einer kleinen vorübergehenden Wasserstandssenkung).

Der Seeboden stellt eine flache Mulde von maximal 15—16 m Tiefe dar. Die größten Neigungen betragen nur 10 ‰, so daß es erklärlich ist, daß Sedimentrutschungen nicht beobachtet werden konnten.

Die gewaltige, wahrscheinlich über 100 000 m³ betragende Sedimentmasse ist in Abb. 26 auf Grund datierter Pollendiagramme in 500-Jahr-Schichten aufgeteilt worden. Es ist selbstverständlich, daß die linearen Interpolationen zwischen sehr weit abstehenden Bohrungen ganz unsicher sind; so sind die Verbindungsgeraden zwischen Profil II und VII nur der Kontinuität zuliebe gezeichnet worden, während sich in Wirklichkeit die zentrale Mulde noch etwas gegen Westen fortsetzt. Dementsprechend werden die Zuwachsuntersuchungen auf die östliche Hälfte der Mulde beschränkt. Soweit sie sich kontrollieren lassen, sind die Schichtdicken in der westlichen Hälfte bei Profil VII fast genau gleich. Da der Abschnitt von Profil II bis VIII tiefe und flache Muldenpartien umfaßt, darf er als Repräsentant für das ganze Becken aufgefaßt werden.

Beim Betrachten der 500-Jahres-Schichtung fällt zunächst die geringe Schichtdicke in größeren Tiefen, die große Dicke in den obern Partien auf. Das hängt jedenfalls mit der von v. Büren (1938) im benachbarten Amsoldingersee festgestellten Erscheinung zusammen, daß das Maximum der Assimilationsleistung in 3—5 m Tiefe liegt, während in 7—8 m Tiefe bereits reduktive Prozesse vorherrschen. Die starke Abnahme der Schichtdicke nach der Tiefe spricht gegen eine starke Beteiligung der Einschwemmung am Aufbau des Sediments; ein großer Teil des Sediments verdankt seine Bildung organischen Prozessen.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Dicken der 500-Jahres-Schicht in verschiedenen Tiefen und zu verschiedenen Zeitpunkten der Spät- und Postglazialzeit:

| Zeit | 2 m tief cm | 4 m tief cm | 6 m tief cm | 10 m tief cm | im Mittel cm |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 7500—7000 | 30 | 30 | 40 | 22 | 27 |
| 7000—6500 | 65 | 52 | 35 | 22 | 35 |
| 6500—6000 | 135 | 75 | 35 | 17 | 44 |
| 6000—5500 | 75 | 55 | 40 | 19 | 36 |
| 5500—5000 | 115 | 75 | 30 | 18 | 40 |
| 5000—4500 | 125 | 80 | 40 | 25 | 47 |
| 4500—4000 | 100 | 65 | 35 | 20 | 53 |
| 4000—3500 | 130 | 75 | 35 | 17 | 43 |
| 3500—3000 | 110 | 75 | 40 | 31 | 40 |
| 3000—2500 | 100 | 55 | 40 | 36 | 35 |
| 2500—2000 | 110 | 85 | 45 | 30 | 41 |
| 2000—1500 | 145 | 115 | 35 | 26 | 41 |
| 1500—1000 | 145 | 90 | 35 | 40 | 47 |
| 1000— 500 | 180 | 105 | 60 | — | 75 |
| 500— 0 | 125 | 100 | 80 | — | 74 |
| 0— 500 | 105 | 125 | 90 | — | 114 |
| 500—1000 | 180 | 120 | — | — | 167 |
| 1000—1500 | 220 | 175 | — | — | 233 |
| 1500—2000 | (400) | — | — | — | — |

Die Zahlen für 2 m, 4 m, 6 m und 10 m Tiefe sind Einzelmessungen und daher mit gewissen zufälligen Fehlern behaftet, die Zahlen für die mittlere Dicke sind durch planimetrische Ausmessung des ganzen Schichtquerschnittes im Längsprofil (Abb. 26) und Division durch die horizontal gemessene Längenausdehnung jeder Schicht gewonnen worden; sie sind beim Vergleich untereinander auch in den kleinern Schwankungen relativ zuverlässig, tragen aber den Mangel, nicht in konstantem Verhältnis tiefere und höhere Schichten zu berücksichtigen. Die neuesten 500-Jahres-Schichten (etwa seit der Eisenzeit) stammen aus einer Zeit, da dem Faulensee ein eine wesentliche tiefe reduktive Wassermasse fehlte; zudem ist durch die Verlandung fast das ganze Seelein in den Bereich der Uferzone gelangt und mußte außerdem jetzt die gesamte Einschwemmung auf kleiner Fläche aufnehmen; es ist deshalb nicht verwunderlich, daß diese letzten Zuwachswerte so stark hinaufschnellen; als spezifischer Ausdruck für die Klimaverhältnisse dieser Zeit sind sie nicht zu werten.

Wenn man diese Tatsache berücksichtigt und die letzten 2000

bis 3000 Jahre wegläßt, fällt auf, daß das Gesetz der vermehrten Sedimentation bei geringerer Wassertiefe nicht nur qualitativ durch die Zeit des gesamten Spät- und Postglazials gilt, sondern daß dieses Gesetz sogar in quantitativer Hinsicht durch Jahrtausende ähnlich geblieben ist. Der gesetzmäßige Verlauf erhellt am besten aus der graphischen Darstellung der in der Tabelle S. 161 enthaltenen Werte (Abb. 27). Diese Darstellung läßt erkennen, wie unvergleichlich stärker das Sedimentwachstum in Tiefen bis zu 6 m ist gegenüber größeren Wassertiefen. Sie zeigt scharf jenen u. a. von v. Büren (1938) geforderten Knick bei ca. 6 m Tiefe, wo das Leben infolge Sauerstoffmangel aufhört und damit auch

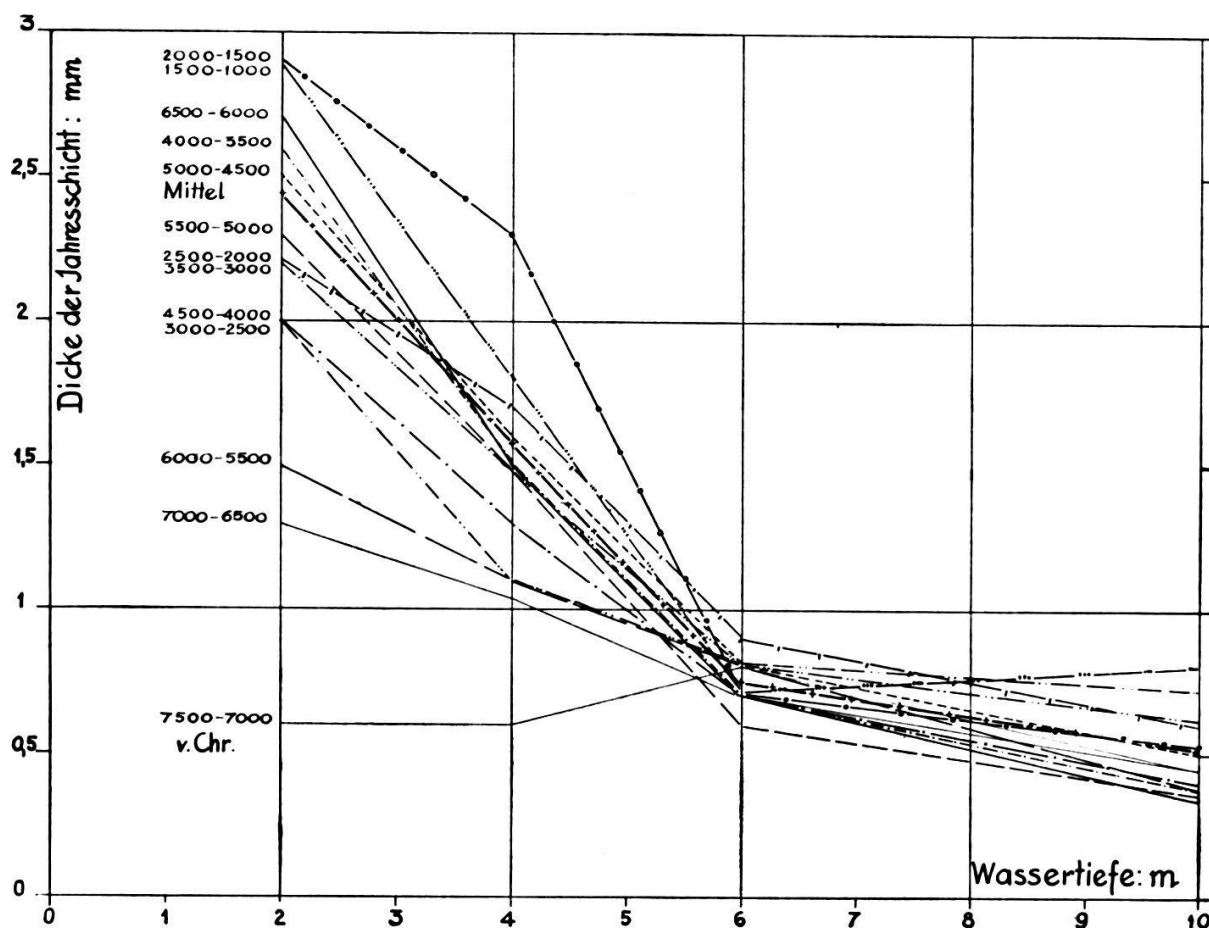
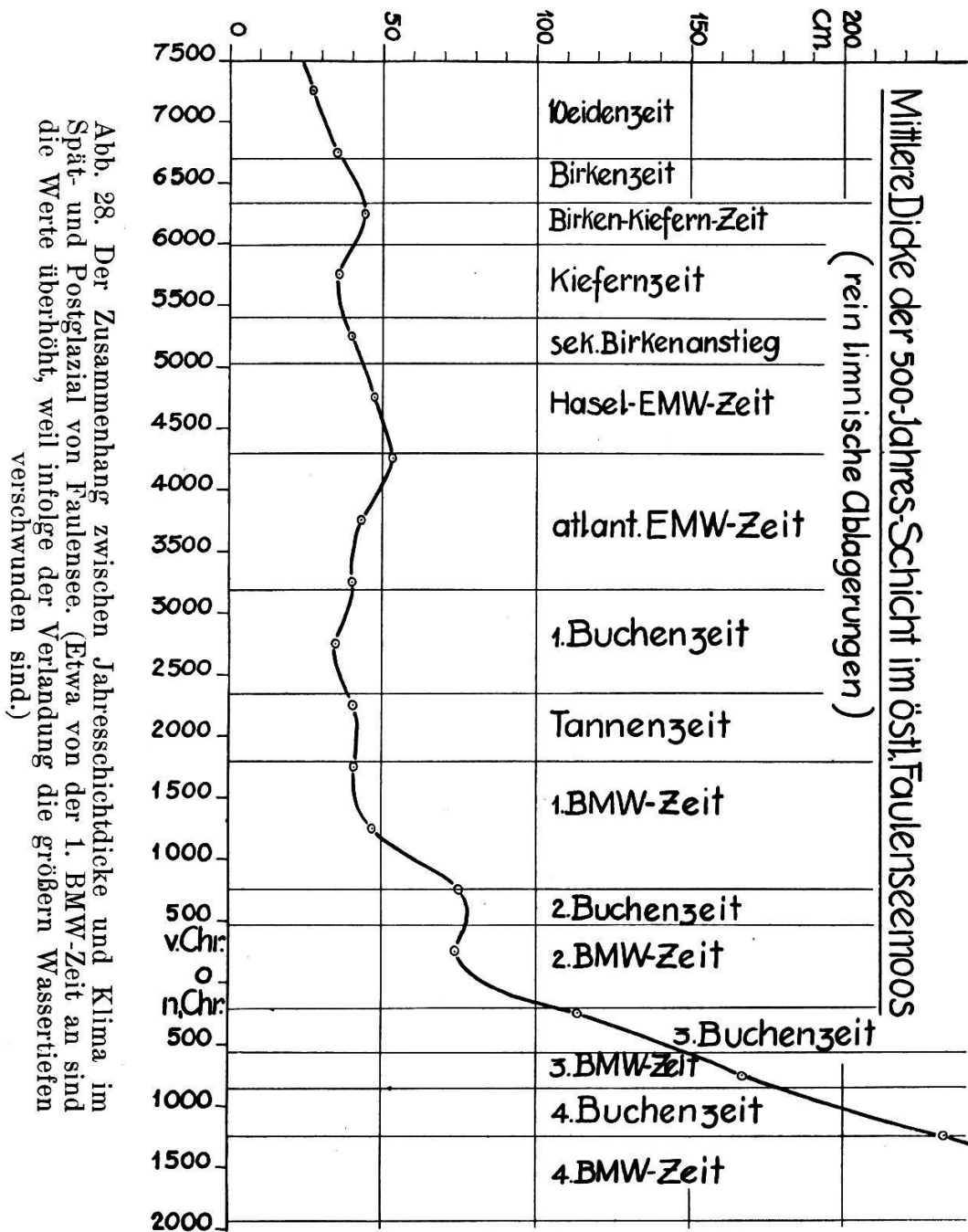


Abb. 27. Die Abhängigkeit der Jahresschichtdicke von der Wassertiefe im Faulensee zwischen 7500 und 1000 v. Chr. nach Tab. S. 161.

die Produktion organisch gefällten Kalkes, und wo anderseits der Bereich beginnt, wo infolge mangelnder Assimilation und CO_2 -Reichtums des Wassers eine Wiederauflösung ausgeschiedenen und absinkenden Kalkes der Oberschicht erfolgen kann. So kommt es



in Tiefen unter 6 m zu sehr stark reduzierten und \pm gleichbleibenden jährlichen Sedimentmengen. Diese betragen im Mittel der Zeit von 7500—1000 v. Chr. in 10 m Wassertiefe 0,5 mm, in 6 m Tiefe noch 0,75 mm, erreichen aber in 4 m Tiefe bereits 1,6 mm und in 2 m Tiefe 2,4 mm. Es scheint, daß sie oben noch etwas zunehmen, wenn auch wahrscheinlich nicht mehr im gleichen Maß. Als mittlerer jährlicher Zuwachswert kommt für den genannten Zeitraum der Wert 0,86 mm heraus.

Sedimentzuwachswerte sind schon mehrfach abgeschätzt worden. Im allgemeinen wurden eher zu kleine Werte errechnet, da der Berechnung außer einem archäologisch datierten Fixpunkt die meist falsche Annahme einer bis in die Jetztzeit weitergewachsenen Torfoberfläche zugrunde lag. Die großen Zuwachswerte in geringen Wassertiefen haben freilich oft eine ungewollte Korrektur geschaffen. Auf einigermaßen gesicherter Basis rechnet H ä r r i (1940, S. 20) Zuwachswerte von 1 mm oder etwas weniger und trifft so die Größenordnung des mittlern Zuwachses gut; zu mehr als einer ganz groben Interpolation sind nach dem Gesagten diese Werte zwar nicht zu gebrauchen. Nach Durchführung pollenanalytischer Parallelisationen läßt sich nachweisen, daß die Gesetzmäßigkeit vermehrten Zuwachses mit geringerer Wassertiefe auch im Wauwilermoos besteht. Durch Schätzung der Schichtdicke an verschiedenen Proben aus dem geschichteten Sediment des Genfersees ist L ü d i (1939a, S. 490) zu einem Mittelwert von ca. 1 bis 2 mm gelangt, also einem Wert derselben Größenordnung. F i r b a s (1935) ist auf Grund einer sehr weiträumigen Auffassung des Spätglazials (wonach z. B. der Birken- und Kiefernabschnitt 7000 Jahre umfassen soll) für das Spätglazial des Federsees zu Jahresschichten von 0,054 bzw. 0,133 mm gekommen, ganz unwahrscheinlich kleinen Werten also, wenn man die erhöhte Einschwemmung aus einer jungen glaziogenen Landoberfläche und bei lockerer Besiedlung durch Pflanzen in Betracht zieht.

Eine gewisse Abhängigkeit der Zuwachswerte vom Klima war von vornherein zu erwarten. Besser als die Einzelwerte der Tabelle auf S. 161 eignen sich zu einer Betrachtung die Mittelwerte der letzten Kolonne, die freilich im historischen Zeitabschnitt die S. 161 erwähnten Mängel aufweisen. Sie sind in Abb. 28 graphisch aufgetragen und lassen folgende Besonderheiten erkennen: Die Jahresschichtdicken schwanken vom Glazial bis ums Jahr 1000 v. Chr. in relativ engen Grenzen, die 500-Jahres-Schicht, die die Zufälligkeiten der Witterung ausschließt, zwischen 27 und 53 cm (0,54—1,06 mm/Jahr). Die Schwankungen erwecken den Eindruck eines bestimmten gesetzmäßigen Erscheinungsablaufs, indem sie zu höhern Werten ansteigen, kulminieren und wieder absinken. Der Zeitpunkt der Kulmination liegt zwischen der Hasel-EMW-Zeit und der atlantischen EMW-Zeit, ungefähr ums Jahr 4300—4400 v. Chr. Dieser Zeitpunkt fällt ziemlich genau mit demjenigen der Kulmination der postglazialen Wärmezeit zusammen, wie er gewöhnlich angenommen wird. Umgekehrt liegt der tiefste Schichtdickenwert am Anfang der Weidenzeit, die als kühl und vegetationsfeindlich erkannt ist. Diese zwei Beobachtungen erklären sich aus dem Umstand, daß vegetationsfeindliche Bedingungen die Bildung von Seekreide und organischer Substanz hemmen. Man erkennt dies besonders gut aus Abb. 27, wo die weidenzeitlichen Kurven der Jahre 7500—7000 und 7000—6500 v. Chr. in 2 m und

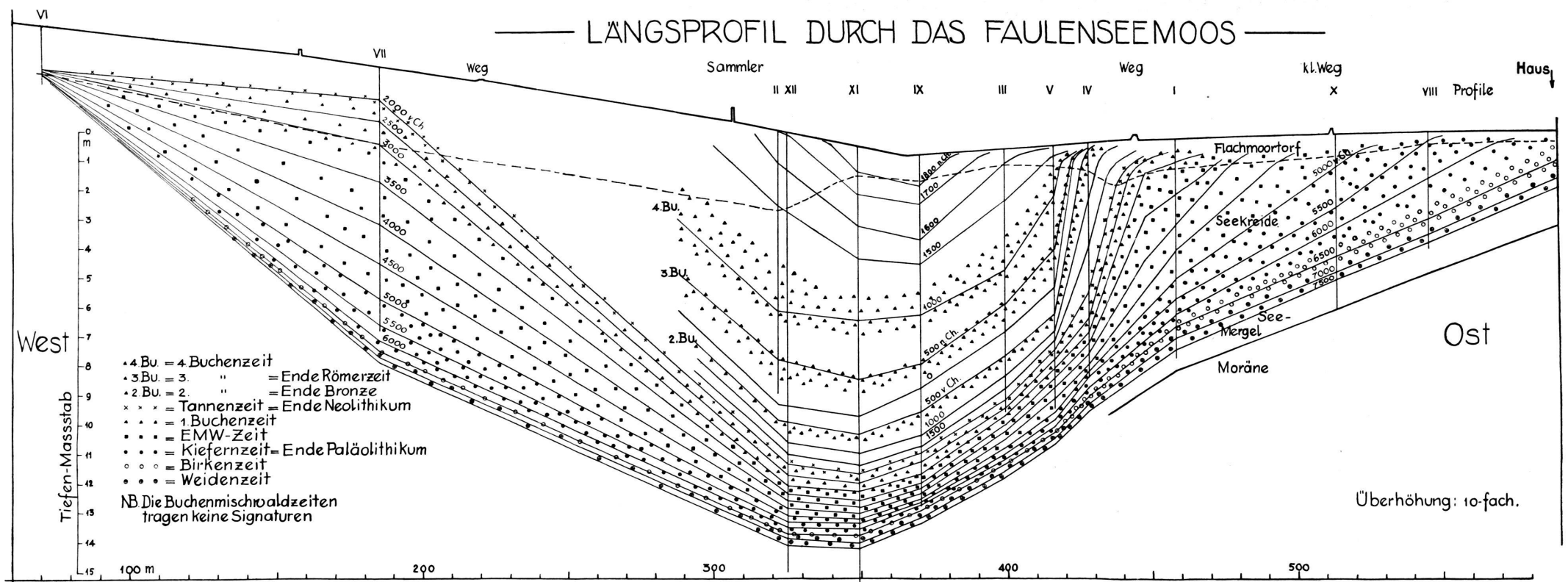


Abb. 26. Längsprofil des Faulenseemooses. Fünfhundertjahres-Zuwachskurven. Die römischen Ziffern bezeichnen die Lage der Bohrprofile

4 m Tiefe nicht viel mehr Sediment aufweisen als in 6 m und 10 m Tiefe, und wo der vegetationsbedingte Knick bei 6 m fehlt. Andererseits weisen die Kurven der warmen Zeiten stark vermehrte ufernahe Sedimentbildung auf. Wir ziehen daraus, wie auch schon auf S. 39 erwähnt wurde, den Schluß, daß Jahresschichtdickenzunahmen als Klimabesserungen, vor allem als Wärmezunahme zu deuten sind (weil für die Wasservegetation der Wasserfaktor mehr oder weniger ausfällt), solange nicht besonders massive Einschwemmungen neue Verhältnisse schaffen.

Im Sinne dieser Erkenntnis sei die Kurve der Abb. 28 durchgegangen. Dem Minimum der Schichtdicke in der Weidenzeit folgt ein erstes Maximum in der Birken-Kiefern-Zeit, ein Beweis mehr für die relativ warme Phase, auf die wir schon durch den Holzartenbestand, die Pollenfrequenz und die Sedimentanalyse geführt worden waren. Ganz übereinstimmend mit entsprechenden Ergebnissen aus der eigentlichen Kiefernzeit weist die abermals geringere Schichtdicke (trotz vermehrter Einschwemmung!) auf ein beträchtlich kühleres Klima hin; dieser Abschnitt dürfte identisch sein mit demjenigen der Schlußvereisung. Bei genau gleicher und ganz gleich ansteigender Schichtdicke wie in der Birkenzeit halten wir den sekundären Birkenanstieg für eine Übergangserscheinung eines wärmer werdenden Klimas und verneinen die Möglichkeit, ihn als Rückschlag, etwa als Folge der Schlußvereisung aufzufassen; dagegen hat nach unserer Auffassung die Schlußvereisung in der mittlern Kiefernzeit die Vorbedingung für einen nochmaligen Birkenanstieg geschaffen. Darauf folgt bei ansteigender Kurve die Haselzeit und die warme EMW-Zeit. Mit der Zunahme der Niederschläge (Einschwemmungen!) in der atlantischen EMW-Zeit nimmt die Schichtdicke und wohl auch die Wärme ab. In der 1. Buchenzeit kommt es bei vermehrter Einschwemmung zu einem Tiefstand der Schichtdicke und wohl auch der Wärme. Man darf wohl diesen Tiefstand nicht absolut mit demjenigen der Kiefern- und Weidenzeit vergleichen; der zeitliche Abstand und der Tiefenabstand im Sediment sind zu groß und der relative Anteil untiefer Stellen beim Zustandekommen des Resultates klein. Die 1. Buchenzeit dürfte aber doch relativ kühler gewesen sein als die EMW-Zeit. In der sehr umstrittenen Frage nach der Klimaänderung, die zur Tannenzeit führte (siehe z. B. Lüdi, 1935 c,

S. 148), scheint unsere Abb. 28 auf eine leichte Wärmesteigerung hinzuweisen, in Übereinstimmung mit den aus den Materialanalysen zu ziehenden Schlüssen. Die erste Buchenmischwaldzeit dürfte etwa gleiche Wärme wie die Tannenzeit (leicht verminderte?) aufweisen bei zeitweiser Vermehrung torrentieller Niederschläge. Die 2. Buchenzeit war nach unserer Abb. 28, aber auch nach den Materialanalysen ausgesprochen warm mit wenig torrentiellen Niederschlägen (sie erzeugte im Norden den sogenannten Grenzhorizont). Die 2. Buchenmischwaldzeit zeigt verminderte Wärme und vermehrte Niederschläge. Die 3. Buchenzeit ist wieder ausgesprochen warm und trocken. Über den Charakter der weiteren Zeitabschnitte läßt uns die Kurve der Abb. 28 im Stich.

Auf eine besonders interessante und aufschlußreiche Stelle der Abb. 27 sei noch hingewiesen: Die Knickstelle der Kurvenschar bei 6 m Wassertiefe (5—7 m) zeigt eine derart geringe Streuung der Zuwachswerte, daß man sagen kann: In 6 m Wassertiefe blieb der Jahreszuwachs im Faulenseemoos durch den ganzen Zeitraum des Spät- und Postglazials hindurch beinahe konstant auf 0,75 mm/Jahr (Extreme 0,6 und 0,9 mm), war also unabhängig von Klimaschwankungen, handle es sich um Schwankungen der Einschwemmung oder der Temperatur. In der Tiefe von 0—5 m besteht dagegen eine starke Abhängigkeit von Klimaschwankungen; das Sediment wächst nicht proportional der Zeit. Diese Konstanz der jährlichen Ablagerung rührt von Kompensationsvorgängen her: steigt die Einschwemmung an, so sinkt die Ablagerung von durch Organistentätigkeit bedingten Stoffen und umgekehrt. Praktisch bedeutet das, daß sich Pollendiagrammstücke verschiedener Profile aus 5—7 m Tiefe in ungefähr gleichem Tempo gebildet haben und darum am besten zu vergleichen sind.

Diese Tatsache ist nun wohl auf Grund der mikrostratigraphischen Chronologie abgeleitet worden. Die Begründung für diese Verhältnisse ergibt sich aber unabhängig von jeder Chronologie aus Überlegungen, die aus rezenten limnologischen Studien folgen (siehe z. B. v. B ü r e n, 1938, Amsoldingersee). Danach wissen wir, daß Stoffproduktion und Kalkausfällung gegen die 6 m-Grenze hinunter sehr stark abnehmen, ja, daß die Gegend um 6 m einen größeren oder kleineren Zuschuß von oben erhält, je nachdem das Klima die Organismenwelt fördert oder hemmt. Da nun in unserer Gegend die Hemmungen gewöhnlich in kühlerem und feuchterem

Klima bestehen, ist die Wahrscheinlichkeit einer gewissen Kompensation vermindelter organischer Stoffproduktion durch vermehrte Einschwemmung gegeben; je nach dem Maß dieser Einschwemmung wird die Tiefe eines solchen Ausgleichs etwas schwanken (ja, der Ausgleich kann bei zu massiver Einschwemmung oder bei fehlender Einschwemmung ganz fehlen).

Ich lege nur deshalb soviel Wert auf diese Überlegungen, weil sich dadurch mit ziemlichem Sicherheitsgrad nachweisen läßt, daß der spätglaziale Abschnitt der Birken- und Kiefernzeit nicht viele Jahrtausende umfassen kann, wie mehrere Forscher es wahr haben wollen (z. B. Firbas, 1935, rechnet mit 7000 Jahren). Vergleicht man z. B. ungefähr die Abschnitte 5—7 m in den Profilen I und IV, so erkennt man, daß der genannte Spätglazialabschnitt (inklusive ein Rest Weidenzeit!) in Profil I ungefähr einem Abschnitt vom ausgehenden EMW bis ans Ende der Tannenzeit entspricht, also auch bei großen Fehlern des Vergleichs nicht 7000 Jahre umfassen kann. Ebenso unwahrscheinlich ist es, daß der Zeitraum des Haselanstiegs 1000—2500 Jahre umfaßt (Firbas, 1935).

b) Die Zuwachsverhältnisse im Flachmoortorf des Faulenseemooses.

Sicherlich sind die Zuwachsverhältnisse in Wasserspiegelhöhe von Moor zu Moor verschieden; das Klima, die Wasserspiegelschwankungen und der Mineralstoffgehalt des Wassers spielen eine ausschlaggebende Rolle. Die sich im Faulenseemoos bietenden Verhältnisse entsprechen einem milden Klima der Hügel- und Voralpenregion und haben nur für ziemlich mineralsalzreiches Wasser Gültigkeit. Für den Charakter der Weiterentwicklung bestimmend dürften auch die häufigen ton- und kalkreichen Einschwemmungen mit leicht schwankendem Wasserstand gewesen sein. Die Verhältnisse gleichen somit denjenigen an flachen Ufern größerer Seen.

Allem Anschein nach entwickeln sich Kalkgyttja und Seekreide ohne Verlangsamung ihrer Wachstumsgeschwindigkeit bis hart unter die Niederwasseroberfläche. Fast schlagartig verändern sich nunmehr die Zuwachsverhältnisse. Bei gleichbleibendem Wasserstande bilden sich nur noch 2—3 dm Flachmoortorf, bei etwas schwankendem Wasserstande das Doppelte oder Dreifache;

dann hört jeder Zuwachs auf, resp. wird durch Verwitterung laufend vernichtet. Die untern Torfabschnitte geben gewöhnlich noch eine stark verkürzte Fortentwicklung des Seekreide-Pollendiagramms wieder; die obern Abschnitte sind verwittert und durch selektive Pollenverwitterung ganz unbrauchbar geworden. Sie enthalten vielfach Spuren rezenter Pollen und täuschen so in jedem Falle eine Fortentwicklung des Pollendiagramms bis heute vor, obwohl vielleicht das Niveau, auf dem wir stehen, schon vor 2000, 3000, 5000 Jahren fast auf den Zentimeter genau an derselben Stelle lag. Diese Zuwachsverhältnisse sind in Abb. 29 wiedergegeben.

Es ist deshalb eine äußerst undankbare Aufgabe, Stillstandsflachmoortorf einer Untersuchung zu unterziehen. Man wird es nur tun, wo es aus andern als waldgeschichtlichen Gründen erforderlich ist. Waldgeschichtlich sind solche Abschnitte wertlos. Wenn dagegen durch stete Wasserzufuhr ein zuverlässiges Einschließen des Aufgewachsenen möglich war, ist Flachmoortorf für waldgeschichtliche Untersuchungen günstig, läßt allerdings die Befürchtung zeitweisen Stillstandes selten ganz widerlegen. Welche Schwierigkeiten der Einordnung entstehen, wenn zeitweise Wasserstandserhöhungen und Austrocknungszeiten abwechselten, erkennen wir aus der Arbeit Lüd is (1935 d) über das Große Moos. Solange wir nicht monographisch über ein bestimmtes Moor arbeiten, sondern die Waldgeschichte einer bestimmten Gegend im Auge haben, müssen wir auf der Suche nach einem geeigneten Untersuchungsobjekt äußerst wählerisch sein. Die guten Objekte einer Landesgegend sollten eigentlich zuerst ausgeschöpft sein, bevor man an die Anwendung der Pollenanalyse auf monographische, entwicklungsgeschichtliche, historische Probleme herantritt. Nur sehr selten wird man beide Probleme am gleichen Objekt lösen können, wie es z. B. in hohem Maße H ä r r i (1940) am Wauwilermoos gelungen ist.

Zahlreiche der ältern Untersuchungen im Lande herum, so z. B. diejenigen P. K e l l e r s (1928) haben über ihren Wert als Pionierarbeit hinaus die Bedeutung einer weiträumigen Sondierung nach pollenanalytisch wertvollen Objekten. Nur darf man nicht übersehen, daß unzählige brauchbare Objekte bis jetzt noch gar nicht geprüft worden sind.

Noch etwas anderes darf man nicht übersehen: Sie sind sehr

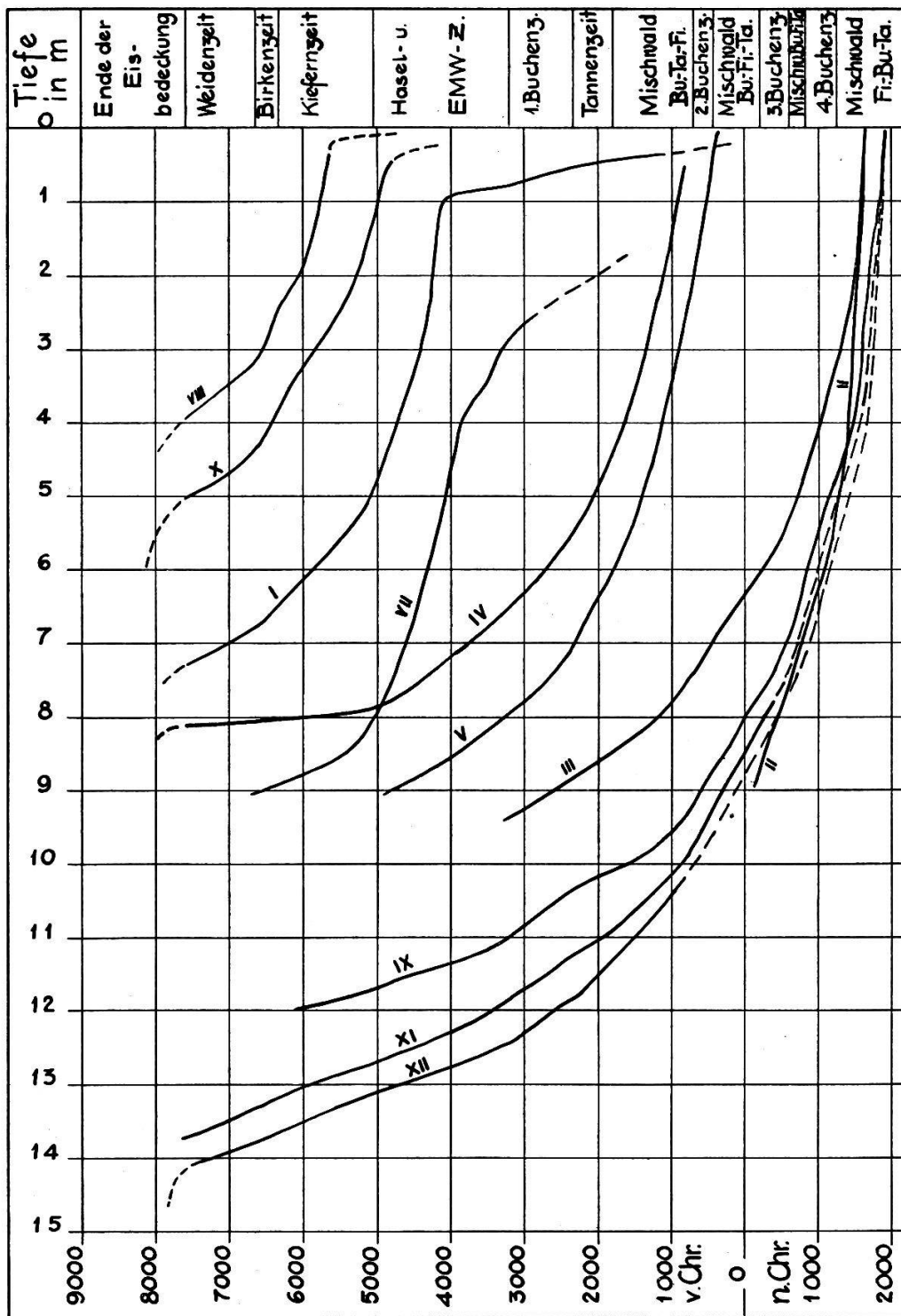


Abb. 29. Die Zuwachskurven für das limnische Sediment in Faulensee in Abhängigkeit von der Wassertiefe sind seit der Eisbedeckung (seit fast 10 000 Jahren!) in ihrer Gesetzmäßigkeit konstant geblieben; eine starke Stütze für die dargelegte Chronologie.

oft in Einzelheiten revisionsbedürftig, haben zu große Probeabstände, sind unvollständig.

Unsere Abb. 29 zeigt, daß im Faulenseemoos kein einziges Profil, das nicht länger ist als 9 m, die Möglichkeit eines vollständigen Pollendiagramms verwirklicht. Alle andern, soviel Spektren mit Tannen-, Buchen- und Fichtenpollen sie auch aufweisen, kommen lange vor der Jetztzeit zum Stillstand. Unser Augenmerk muß sich darum stets auf tiefe, steilrandige Muldenmoore ohne größeren Wasserlauf richten, wenn wir Waldgeschichte untersuchen wollen. Fast alle publizierten Pollendiagramme sind verkürzte und, was oft schlimmer ist, in weiten oberen Teilen ganz unzuverlässige Ergebnisse. In vielen Landesgegenden wird man sich allerdings damit behelfen müssen, die zuverlässigen Profilstücke verschiedener Moore zu kombinieren, um zum vollständigen Bild der Waldentwicklung zu gelangen, da es an tiefen Mooren meist fehlt. Möglicherweise wird die Erforschung unserer kleinen und großen Seebecken die gesuchte Ergänzung und den wünschbaren Ausbau unserer Kenntnisse liefern.

c) Der absolute jährliche Pollenniederschlag und seine säkulare Änderung. Das absolute Pollendiagramm.

Wir erinnern vorgängig einer Besprechung eigener Bestimmungen daran, daß Bertsch im Jahr 1933 in Ravensburg rund 4000 Pollenkörner pro cm^2 Auffangfläche erhalten hat (cit. nach Lüdi, 1937). Lüdi (1937) fand in Davos entsprechend dem vegetationsärmern Gebiet nur 40 Gehölzpollen pro cm^2 und Jahr. Wir haben im Faulenseesediment durch Abschaben an einem Schichtpaket als Mittel aus mehreren Jahren im Bereich der 1. Buchenzeit 1200—3200 Stück pro cm^2 und Jahr bestimmt.

Das Vorhandensein einer Jahresschichtung reizte mich, weitere Bestimmungen dieser Art vorzunehmen. Leider sind aber die bröckeligen Seekreide und Kalkgyttja-Proben so gründlich zerfallen, daß auf ähnliche Weise nichts zu machen war.

Ich verfiel auf folgende Näherungsbestimmung: Denken wir uns aus einem intakten Schichtpaket mit einem feinen Röhrchen von 3,5 mm Durchmesser einen Sedimentzylinder von 3,3 mm Höhe herausgestochen. Bestimmen wir die darin enthaltene Pollenzahl p , so erhalten wir die jährlich sedimentierte Pollenzahl P pro Quadratzentimeter Schichtfläche auf Grund folgender Umrechnung:

$$P = \frac{p \cdot 100}{\frac{3,5}{2} \cdot \frac{3,5}{2} \cdot 3,14} \cdot \frac{d}{3,3} = 3,15 p \cdot d$$

worin d die Jahresschichtdicke in Millimeter bezeichnet und p die in diesen 31,8 mm³ Sedimentmenge gezählten Pollen. Soweit ist eine Bestimmung innerhalb enger Fehlergrenzen durchführbar.

Da nun ein solches Herausstechen an intakten Schichtpaketen nicht möglich war, bohrte ich ein Loch von 3,5 mm Durchmesser in ein Metallplättchen von 3,3 mm Dicke und füllte es, leicht drückend, glatt mit Sedimentmaterial. Diese kleine Probe wurde mit Salzsäure behandelt und vollständig auf den Objektträger gebracht. Ein vollständiges Auszählen wäre nicht möglich gewesen, da es sich meist um Tausende von Pollen handelte; deshalb zählte ich fünf gut übers Präparat verteilte Zeilen aus und rechnete aufs ganze Präparat um (34 Zeilen).

Natürlich muß ich mit dieser Abfüllmethode einige Fehler in Kauf nehmen. Einmal ist das Material beim Trocknen geschrumpft; beim Pulverisieren dürfte es allerdings wieder etwas aufgehen. Dann mag ein verschiedenes Drücken beim Einfüllen Fehler verursachen. Schließlich entstehen Zählfehler. Zuletzt mag auch die den Feldmessungen als Fünfschichtenmittel entnommene Dicke für den verwendeten Probenanteil nicht ganz stimmen. Dessenungeachtet halte ich die erhaltenen Zahlen für gut vergleichbar, wenn sie schon vielleicht infolge der Trocknung alle um einen gewissen Bruchteil zu groß sind. Man hätte, um gleiche «Mengen» zu bekommen, auch wägen können; ich verwarf diese Art, indem doch Ton, Seekreide und organisches Material sehr verschiedenes spezifisches Gewicht aufweisen; volumengleiche Teile schienen mir richtiger, da damit auch die Beziehung zu den Schichtdicken leicht herzustellen war. (Aario, 1940, hat in Finnisch-Lapland zur Bestimmung der absoluten Pollenfrequenz des Torfs 50 mg trockenen Torf durchgezählt, natürlich ohne Bezugnahme auf den Jahreszuwachs.)

Daß das Einfüllen selbst und die Zählungen meist keine sehr großen Fehler verursachen, läßt sich durch Ausführen mehrerer Bestimmungen am Material derselben Tiefe nachweisen. Drei Zählungen aus der Tiefe 1370 cm des Profils XII ergaben 470, 493 und 477 Stk/cm² und Jahr, also eine wider Erwarten gute Übereinstimmung.

Für eine ausgedehntere Untersuchung wurde der spätglaziale Abschnitt des Profils XII gewählt, da er ein besonderes Interesse beansprucht und seine Jahresschichtdicken auch genau bekannt sind. Letztere sind in der zweiten Kolonne der Abb. 16 wiedergegeben. Die mühsame Untersuchung in der Weidenzeit ersparte ich mir und setzte beim letzten Weidengipfel in 1382 cm Tiefe ein.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der zweiten Hälfte der Abb. 16 wiedergegeben; verfolgen wir sie genauer: Der Weidengipfel bei 1382 cm weist 29 Stk/cm² und Jahr auf; der Wert steigt schon im Anlauf des Hippophaë-Gipfels auf 119, im Gipfel selbst auf 163 Stk. Schon die nächste Probe ist zur Birkenzeit zu rechnen (1376 cm); sie weist 630 Stk. auf; die Proben der

zwei Spektren mit den höchsten Birkenprozenten zeigen auf 850 und 970 Stk. Darauf folgt jene schon früher besprochene Depression der Birkenzeitmitte (1370 cm, hoher Weidenwert!) mit 480 Stk. Dann folgt der Hauptanstieg zur Kiefernzeit (1368 bis 64 cm) mit 1100, 2200 und 2600 Stk., gefolgt von dem dem ersten Birkennachgipfel entsprechenden Rückschlag mit 1030 und 1530 Stk. Der neue kräftige Kiefernanstieg ist begleitet von den Werten 4300 Stk. (1358 cm), 4340 Stk. (1356 cm). Darauf erfolgt ein Abstieg, der infolge zu wenig enger Probeentnahme den zweiten Birkennachgipfel und den eigentlichen kiefernzeitlichen Klimarückschlag umfaßt und bei 1350 cm zum niedrigen Wert von 800 Stk. führt. Die Werte schwanken dann in der ganzen mittlern Kiefernzeit zwischen 1000 und 2000 Stk. und scheinen nur in der Mitte bei 1337,5 cm vorübergehend auf den exponierten Wert 3340 Stk. anzusteigen. Der letzte tiefe Wert, zugleich einer der tiefsten der Kiefernzeit liegt bei 1325 cm mit 1170 Stk. Dort liegen die letzten noch relativ beträchtlichen Salix-Werte. Mit der nächsten Probe (1322,5 cm: 2060 Stk.) beginnt ein unvergleichlicher Anstieg zum sekundären Birkenanstieg und zur postglazialen Wärmezeit: 1320 cm und 1317,5 cm je 7150 Stk., 1315 cm mit dem höchsten überhaupt festgestellten Wert von 8300 Baumpollen/cm² und Jahr. In der nächsten Probe bei 1312,5 cm beginnen der endgültige Kiefernabstieg, der EMW-Anstieg und die massive Haselausbreitung; unser Pollenwert sinkt in den zwei folgenden Proben auf 3070 und 3080 Stk., um bei 1305 cm Tiefe sogar einen neuen Tiefstand bei 1240 Stk. zu erreichen.

Bei der Wertung der mitgeteilten Zahlen sind verschiedene Punkte zu berücksichtigen. Der Pollenniederschlag auf dem Seeboden eines kleinen Seeleins braucht mit dem wirklichen Niederschlag auf 1 cm² Landfläche nicht zusammenzufallen, auch nicht mit dem Niederschlag in einem Auffanggefäß. Nach meinem Dafürhalten ist allerdings in dieser Beziehung nicht viel auszusetzen, da bei der großen Wassertiefe von 13 m in der untersuchten See mitte Windandrifft nicht in Frage kommt, eher Abdrift; auch sind ja gerade Auffanggefäße kaum einwandfrei aufzustellen. Die Voraussetzungen für die Entstehung zuverlässiger Werte scheinen mir im Muldenseelein von Faulensee gegeben.

Die Höhe eines Pollenniederschlags und die Veränderungen der entsprechenden Zahlen sind abhängig von der Bewaldungsdichte

eines Ortes und seiner Umgebung, von der Baumart, von der Größe und Blühfähigkeit der Einzelbäume, von der Witterung zur Blühzeit und direkt oder indirekt vom Klima. Steigt bei gleichbleibender Waldzusammensetzung der Pollenniederschlag, so ist an vermehrte Baumzahl, bessere Baumentwicklung, bessere Blühfähigkeit zu denken; vom Standpunkt der Baumart aus betrachtet, handelt es sich dabei stets um eine Besserung der Lebensbedingungen, mithin um eine Klimabesserung, wobei kaum zu entscheiden ist, ob mehr Wärme oder günstigere Niederschlagsverhältnisse oder noch etwas anderes diese Besserung darstellt. Ändert sich die Zusammensetzung des Artbestandes, so kann das Klima selbst an dieser Änderung schuld sein, wenn es sich nicht um bloß verspätetes Nachrücken (Wanderung im Sinne von Firbas) handelt; dann kann die Pollenzahl je nach der spezifischen Pollenerzeugung jeder Art, je nach ihrer neuen Individuendichte und je nachdem doch wohl häufig mitwirkenden Klimaeinfluß in kaum abzuschätzender Weise zu- oder abnehmen.

In diesem Zusammenhang sei noch folgender Gedanke in die Diskussion geworfen: Im allgemeinen wird angenommen, der Einfluß einer Klimaänderung könne sich erst nach dem Zeitraum von mindestens einer Baumgeneration (100—200 Jahre) im Pollendiagramm auswirken, weil erst nach dieser Zeit die vom Klima begünstigten neuen Bäume vorhanden und blühfähig seien. Ist es nicht wahrscheinlich, daß eine Klimaänderung schon die Blühfähigkeit der vorhandenen Bäume derart fördert, daß sich der Pollenniederschlag ohne nennenswertes Nachhinken im Pollendiagramm bemerkbar machen kann? Es ist z. B. sehr unwahrscheinlich, daß im Profil XII von 1360 auf 1358 cm, also im Zeitraum von 50 Jahren die Stammzahl in den Wäldern von Faulensee auf das Dreifache gestiegen ist (entsprechend einer Vermehrung des Pollenniederschlags von 1530 auf 4300 Stk./cm² und Jahr). Eben- sowenig darf man sich wohl vorstellen, daß von 1354 auf 1350 cm, im Zeitraum von 100 Jahren, die Baumdichte fünfmal kleiner geworden sei, weil die Pollenzahl von 4000 auf 800 gesunken ist. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse am Beginn der Wärmezeit. Daß diese Änderungen immerhin noch 50—100 Jahre brauchen, um im Pollendiagramm zum Ausdruck zu kommen, spricht nicht gegen meine Auffassung der sofortigen Reaktion, denn einerseits können die gewählten Probeabstände kürzere Fristen gar nicht

angeben, anderseits ändert das Klima selbst doch wohl langsam, kontinuierlich und nicht sprunghaft. Nicht anders als mit diesen Großschwankungen des Pollenniederschlags dürfte es mit den kleinen Veränderungen sein: der erste Ausschlag nach oben oder unten ist wohl ausschließlich als phytometrischer Index für eine Klimaänderung zu deuten und keineswegs als Änderung im Baumbestand. Anhaltend veränderter Pollenniederschlag erweckt dann allerdings schon die Vermutung auf veränderten Baumbestand (ob stets zu Recht, ist noch fraglich!). Wenn in unsern üblichen Pollendiagrammen die eine oder andere Änderung etwas unwahrscheinlich sprunghaft erscheint, so ist vielleicht gelegentlich diese Phytometerwirkung der individuellen Pollenproduktion verantwortlich zu machen.

Zur kritischen Würdigung des absoluten Pollenniederschlags ist nach dem Gesagten die Kenntnis der Baumartenmischung erforderlich. Diese ist dem gewöhnlichen Pollendiagramm zu entnehmen. Verbindet man die Verhältniszahlen der Pollenspektren mit dem absoluten Pollenniederschlag pro cm^2 und Jahr, so gelangt man zur Aufstellung des absoluten Pollendiagramms, das in der rechten Hälfte der Abb. 16 wiedergegeben ist. Es bietet sich ein neues, wohl noch nie aufgestelltes Kurvenbild, das jetzt einer kritischen Betrachtung unterzogen werden soll.

Die weidenzeitlichen Absolutwerte des Pollenniederschlags sind so niedrig, daß sie im Maßstab der Abb. 16 kaum aufgetragen werden können; deshalb darf man das Bild als für den ganzen Spätglazialabschnitt vollständig bezeichnen. Die Weidenzeit weist Absolutwerte auf, wie sie in ähnlicher Größenordnung L ü d i und V a r e s c h i (1936, und L ü d i, 1937) 700 m über der Waldgrenze von Davos, auf Weißfluhjoch (2670 m ü. M.) fanden. Sie enthielten nämlich etwa neunmal weniger Baumpollen als in Davos, also etwa 5 Stk./ cm^2 und Jahr. Unser Endwert (29 Stk.) bei 1382 cm ist, nach den Pollendichten der Präparate zu schließen, ein Maximalwert und wird sonst bei weitem nicht erreicht (Probe 1384 cm ausgenommen).

Es wäre nicht weniger interessant, über die jährlichen Pollenniederschlagszahlen in der nordischen Tundra Näheres zu wissen. Mir ist nicht bekannt, ob direkte Bestimmungen bereits existieren. In Ermangelung solcher bediene ich mich der von A a r i o (1940, S. 73—77) mitgeteilten Werte der sogenannten absoluten Pollen-

frequenz in 50 mg Oberflächentorf. Selbstverständlich sind dies nicht Jahreswerte, und doch scheinen sie als solche in recht großer Näherung richtig zu sein. Zur Zeit der Birken- und Kiefernwälder in Faulensee beläuft sich der mittlere jährliche Baumpollenniederschlag auf 1 cm² auf ca. 1830 Stück (Proben 1378—1325 cm). Hält man den Mittelwert der sogenannten absoluten Pollenfrequenz in 50 mg Torf daneben, den Aario für die Waldgebiete Lapplands (also auch für Birken- und Kiefernwälder) errechnet, 1870 Stück (für Südfinnland 1900 Stück), so ist man über die doch wohl rein zufällige Übereinstimmung sehr überrascht. Es scheint demnach, daß die 50 mg Torftrockensubstanz einer Jahresablagerung auf 1 cm² Fläche entsprechen. Um so einfacher gestaltet sich unser Vergleich mit dem Norden bzw. der Vergleich mit dem Pollenniederschlagsverhältnis Tundra—Waldgürtel im Norden. Tundra-proben, die 30 km vom Birkengürtel und 100 km vom Kiefernwald entfernt entnommen wurden, ergaben rund 20—100 Baumpollen in 50 mg Trockentorf (im Mittel 69 Stück, wovon 51 Kiefernpollen): wenn wir nun noch annehmen, daß bei dem langsamern Torfwachstum der Tundra diese Werte zwei Jahresablagerungen entsprechen, folgt daraus für die Tundra ein Wert von rund 30 Pollen/cm² und Jahr. Jedenfalls liegt der in der Weidenzeit in Faulensee erschlossene Baumpollenniederschlag von rund 30 Pollen und weniger pro cm² und Jahr ganz in der Größenordnung desjenigen der nordischen Tundra Lapplands. Aus Gründen der Analogie muß man annehmen, daß weder Kiefern noch Großbirken in der Umgebung von Faulensee wuchsen, und daß selbst Zwergbirken spärlich vertreten waren. Der geringe prozentuale Anteil der pollenreichen Kiefer läßt es als unwahrscheinlich erscheinen, daß zu jener Zeit Kiefernwälder in der schweizerischen Hochebene standen, vor denen her ein Birkengürtel erobernd in unsere Täler eindrang; selbst Birkenwald dürfte erst in der spätesten Weidenzeit im Mittelland gestanden haben, da sonst der Fernfluganteil der Birke bedeutend größer sein müßte. Die Entwicklung des Birkenwaldes kann in Faulensee nur wenig später erfolgt sein als im Mittelland, wenn überhaupt ein wesentlicher Zeitunterschied besteht. Diese Verhältnisse scheinen mir sehr zugunsten einer frühen sporadischen Verbreitung und spätern explosionsartigen Entwicklung zu sprechen und damit für die Gleich-

zeitigkeit der spätglazialen Hauptentwicklungsstufen in sehr großen Gebieten Europas.

Der Hippophaë-Gürtel rückt der Größenordnung des Pollenniederschlags nach nur schwach aus den Werten für die Tundra heraus, die Aario für Finnisch-Lappland gefunden hat.

Die erste Probe der Birkenzeit (1376 cm) entspricht in ihrem Pollenwert genau der Region Lapplands mit Birkengesträuch und offenem Birkenwald, während unser Birkenzeitgipfel in der Größenordnung ganz dem nordischen Birkenwald entspricht ohne den reichlichen Kiefernneinschlag Lapplands. Eigentliche Kiefernwälder müssen also auch zur Birkenzeit noch sehr weit weg gestanden haben. (Nähe des Kiefernwaldes und spärliche Vertretung der Kiefer im Birkenwald ergab in Lappland stets schon 30—40 % Kiefernpollen, während er bei uns in der Birkenzeit nur 2—3 % beträgt.)

Von der Probe 1370 cm an scheint sich die Kiefer in Faulensee in die Birkenwälder einzunisten. Das absolute Pollendiagramm korrigiert und sagt aus: Ein Klimarückschlag hat die Pollenproduktion der Birke so stark reduziert, daß der Fernflugpollen der Kiefer prozentual stärker zur Geltung kommt. Nach den Ergebnissen Aarios ist sogar für die Proben bei 1368 und 1366 cm noch eine sehr geringe Kiefernbeimischung anzunehmen.

Das absolute Pollendiagramm zeigt einwandfrei, daß der Kiefernanstieg von 1368—64 cm bedingt ist durch ein günstigeres Klima; wäre das Erscheinen der Kiefer eine einfache Zuwanderung, so müßte der prozentuale Birkenrückgang von einem Rückgang der absoluten Birkenpollenzahl begleitet sein; in Wahrheit nimmt aber der Birkenpollen noch zu. Da aber der Kiefernpollen stärker zunimmt, muß der Birkenpollen im relativen Pollendiagramm eine Abnahme vortäuschen. Wenn als Folge der Klimabesserung die Pollenproduktion der Kiefer vergrößert worden ist und ihre Individuenzahl wahrscheinlich zugenommen hat, so ist noch keineswegs gesagt, daß sich die Individuenzahl der Birke verkleinert hat, ja, sie könnte sich tatsächlich noch etwas vergrößert haben; denn die Baumdichte dürfte in jenem nordischen Birkenwald nicht so groß gewesen sein, daß nicht ein baumwuchsförderndes Klima eine Zunahme der flächenbezogenen Stammzahl beider Komponenten erlaubt hätte.

Eigentliche Kiefernausbreitung ohne klimatische Förderung

macht sich in der Probe 1362 cm bemerkbar. Ja, ein Klimarückschlag reduziert die Pollenproduktion beider Bäume. *Pinus* erweist sich aber als zäher. Den Grund erkennen wir in unsern Artdiagnosen (s. S. 103): Während im Gebiet des Hauptanstieges der Kiefer dem bessern Klima entsprechend die Waldföhre dominierte, gewinnt zur Zeit des Klimarückschlages die Bergföhre die Oberhand. Der Klimarückschlag führt bei 1360 cm doch zu einem schwachen Rückgang (wohl nur der Waldföhre und der Pollenproduktion), während die Birke die Schädigungen besser aushält, weniger leidet (insbesondere *Betula pubescens*, s. S. 96) und darum scheinbar (ob auch wirklich?) zunimmt.

Was folgt, ist etwas zusammengezogen (wie S. 172 erwähnt). Eine ganz erkleckliche Klimabesserung läßt die Pollenzahl der Birke sich verdoppeln, diejenige der Kiefer sich vervierfachen. Wir wissen nach S. 103 und S. 108, daß es sich um eine starke Ausbreitung der Waldkiefer bei leicht zurückgehender *Betula pubescens* handelte: Das starke anfängliche Ansteigen der Birken-Absolutkurve und nachherige Absinken spricht ganz für die S. 173 ausgesprochene Ansicht. Wir halten noch fest, daß diese Klimabesserung, die wahrscheinlich von einem kurzen Rückschlag unterbrochen war, nur rund 200 Jahre dauerte (um 6200—6000 v. Chr.).

Der schon mehrfach besprochene Hauptrückschlag des Klimas in der mittlern Kiefernzeit stellt keineswegs eine Zeit üppiger Kiefernwälder dar, wie es die Relativwerte des üblichen Pollendiagramms anzudeuten scheinen. Nach dem absoluten Pollendiagramm handelt es sich um eine Zeit stark eingeschränkter Pollenproduktion, während welcher kürzere Zeitabschnitte nur halb soviel Pollen produzierten wie der lappländische Kiefernwald (Aario, 1940, S. 66). Es stimmt vortrefflich damit überein, daß die bis dahin hauptsächlich vorkommende *Betula verrucosa* fast verschwindet und nur *B. pubescens* in geringer Menge übrigbleibt (s. S. 96). Und nicht weniger stimmt damit der Dominanzwechsel von Waldföhre zu Bergföhre überein (s. S. 104). Das absolute Pollendiagramm läßt vermuten, daß zu dieser Zeit die Waldföhre stark zurückging, wogegen die Bergföhre vielleicht nicht zunahm, sondern nur ihren Bestand wahrte. Die mittlere Kiefernzeit dürfte also in Faulensee den Charakter eines leicht lockern alpinen Waldes aufrechter Bergföhren

getragen haben, wie er heute hier und dort gegen unsere Waldgrenze bei 1700—1900 m Meereshöhe steht.

Wenn nun schon die Quartärgeologie für die Zeit der wohl hierher zu rechnenden Schlußvereisung Schneegrenzendepressionen von bloß 300—600 m annimmt, so zeigt vorstehende Untersuchung nur, wie falsch es wäre, alle Höhengrenzen um gleiche Beträge reduziert zu denken. Das die Eisvorstöße verursachende Glazialklima hatte jedenfalls auch im Tiefland stärkere Veränderungen zur Folge, als man in der einseitig alleinigen Berücksichtigung der Schneegrenzendepression zu erkennen glaubt. Und es ist wohl möglich, daß uns die heutigen Beobachtungen über die rezenten Gletscherschwankungen so wenig über die Ursachen der Vereisungen unterrichten können, wie die Untersuchung der Wellenbildung auf einem kleinen See etwas über die Ursache von Flut und Ebbe auszusagen vermag. Vielleicht untersuchen wir dabei gerade die kleinen sekundären Oszillationen einer großen unbekannten Klimakurve.

In Profil XII scheint sich bei 1337,5 cm eine Klimabesserung angebahnt zu haben. Ihr folgt aber so rasch ein Rückschlag, daß es zu viel mehr als einer vorübergehenden Steigerung der Pollenproduktion kaum gelangt hat.

Nach einem ersten Klimatiefstand nach 6000 v. Chr. und einer vorübergehenden Besserung stellte sich nach dem absoluten Pollendiagramm ein zweiter Tiefstand vor 5400 v. Chr. ein.

Mit der Probe 1322,5 cm beginnt die große postglaziale Klimabesserung. Ihre erste Wirkung dürfte eine gewaltige Steigerung der Vitalität und Fruktifikationsfähigkeit der bestehenden Baumarten gewesen sein. Die drei Höchstwerte der Pollenproduktion umfassen vorerst nur einen Zeitraum von etwa 150 Jahren. Daß die Waldkiefer nach unsern Untersuchungen auf S. 108 nicht mehr zunimmt, während doch sofort *Betula verrucosa* wieder *Betula pubescens* überflügelt, hängt vielleicht mit den S. 104 erwähnten Eigentümlichkeiten zusammen, um so mehr als sich dabei die Birke bedeutend besser (üppiger und individuenreicher) entwickelt hat als je zuvor in der Spätglazialzeit, die Birkenzeit nicht ausgenommen. Gleichzeitig erscheinen die ersten bleibenden Spuren wärmeliebender Gehölze, vorläufig jedenfalls noch bloß als Fernflugpollen.

Sehr interessant ist innerhalb dieses kurzen, nur 150 Jahre um-

fassenden ersten Klimabesserungsabschnittes das Verhalten des Weiden- und Gramineen- und des Hasel- und EMW-Pollens. Das besser gewordene Klima läßt anfangs (bei 1320 cm) nicht nur die Pollenproduktion der Kiefer und der Birke emporschnellen, sondern steigert auch diejenige der Weiden und Gramineen um das Mehrfache. Daß schon in der nächsten Probe beide stark zurückgegangen sind, hat seinen Grund sicherlich nicht darin, daß das Klima nun «zu gut» geworden wäre für Gräser und Weiden, sondern, daß sich Birken und Kiefer so sehr breit gemacht haben (üppig und zahlreich), daß die Gräser empfindlich, die Weiden fast ganz durch Konkurrenz zurückgedrängt wurden. Wir lernen aus diesem Verhalten zwei Dinge: Erstens bestätigt sich unsere S. 173 geäußerte Ansicht, daß eine Klimabesserung erst die Pollenproduktion und erst später die Individuendichte einer Art fördert; zweitens erkennen wir, daß der 150jährige Klimabesserungsabschnitt nicht etwa einzig und allein die Pollenproduktion gesteigert hat, sondern daß schon nach rund 70 Jahren die klimatische Förderung in der üppigeren Entwicklung der Bäume und der größeren Walddichte zum Ausdruck gekommen ist. Der Umstand, daß anlässlich der ersten Steigerung der Pollenproduktion bei 1320 cm der Haselpollen noch nicht ansteigt, spricht zwar dafür, daß die Hasel in unserer Gegend noch kaum vertreten war; wenn aber anderseits schon 70 Jahre später der absolute jährliche Pollenniederschlag pro cm² 1200 Haselpollen und weitere 70 Jahre später 5600 Stück betragen konnte, werden wir kaum annehmen können, daß die Einwanderungswelle der Hasel (für den EMW ist es ähnlich; Pollenzahlen 600 und 1100) nun einfach erst eingetroffen sei, wie es F i r b a s (1934, 1935) nach seiner ältern Auffassung darlegte. Sonst hätte ja die vorrückende Hasel- und EMW-Welle zu Beginn der Klimabesserung (bei einem jährlichen Verbreitungssprung von 200 m) unterhalb Thun und weitere 70 Jahre früher zwischen Thun und Bern stehen und vorrücken müssen, zu einer Zeit, da in Faulensee und sicher auch in Bern noch denkbar schlechte Klimabedingungen herrschten.

Wenn wir also für die Mehrzahl der spät- und postglazialen Waldentwicklungsphasen die alte Auffassung R u d o l p h s (1930) für richtig halten, wonach eine weiträumige sporadische Verbreitung jeder Baumart lange vor ihrer Massenausbreitung existierte (sei es auf Grund von Wanderung oder von Refugien und Wan-

derung), so soll damit der weitem Diskussion über diese Streitfrage nicht der Boden entzogen werden. Der eigentliche einwandfreie Nachweis früher sporadischer Verbreitung dürfte nämlich noch einige Zeit auf sich warten lassen, wie folgende Überlegung zeigt: Wenn auf dem Areal einer Gemeinde, z. B. der Gemeinde Spiez, die fast zwei Wegstunden Thunerseeufer umfaßt und rund 2 km breit ist (16,6 km²), 67 Bäume einer selteneren Baumart stehen, so wird man gewiß schon von einer recht guten sporadischen Verbreitung sprechen können. Berechnet man die übrigen bei vollständiger Bewaldung des Gemeindeareals zu erwartenden Bäume (auf Grund der heutigen Stammdichte 400 Bäume von mindestens 13 cm Brusthöhendurchmesser pro Hektare), so kommt man auf 664 000 Stück. Unsere 67 Bäume machen somit den zehntausendsten Teil aller Bäume aus. Wenn man nicht von besonderem Zufall begünstigt ist, darf man auch nur auf 10 000 Pollenkörner ein seltenes, «interessantes» erwarten. Ist nun gar der klimatische Schwellenwert für die volle Entwicklung einer Baumart noch nicht erreicht, so werden eine reduzierte vegetative Entwicklung und beschränkte Blühfähigkeit das Verhältnis noch ungünstiger gestalten. Wer könnte nun behaupten, in den klimatisch günstigeren Abschnitten des Spätglazials 10 000—50 000 Pollen an verschiedenen Örtlichkeiten erfolglos untersucht und damit den Beweis erbracht zu haben, daß sporadische Verbreitung nicht existiere? Wer könnte aber auch behaupten, durch eine entsprechende Untersuchung einwandfrei deren Vorhandensein nachgewiesen zu haben? (Fernflug!) Und dennoch scheinen sich die Indizien dafür zu häufen.

Fast möchte es scheinen, bei 1312,5 cm stürze die Klimabesserung zusammen. Bei 1315 cm wohnen wir aber im absoluten Pollendiagramm einer Machtübergabe der Kiefer an die Hasel und den EMW bei. Eine kleine negative Klimaschwankung dürfte bei 1312,5 cm zwar stattgefunden haben. Sie wurde aber von einer so intensiven Besserung gefolgt, daß *Corylus* zum höchsten Wert dieses Abschnittes, 9200 Pollen/cm² und Jahr, ansteigt. Wenn die Baumpollensumme dabei unverändert auf 3200 stehen geblieben ist, ist das dem Umstande zuzusprechen, daß der reiche Pollenspende Kiefer den armen Pollenspendern der Ulme und Linde Platz macht, anderseits die Hasel einen gewissen Raum im Walde beansprucht. Ein deutlicher Rückschlag macht sich bei 1305 cm

bemerkbar. Die kurze Dauer und geringe Intensität (besonders auch vergleichbar mit den Rückschlägen der Kiefernzeit) schließen eine Parallelisation mit den bekannten späten Gletscherstadien aus. Das erwähnte merkwürdig starke Vorherrschen der Bergkiefer unter den relativ spärlichen Kiefernresten mag daher rühren, daß der Kiefer nur die felsigsten und zeitweise nassen Standorte übriggeblieben waren, die natürlich eher von der Berg-, als von der Waldkiefer besiedelt wurden.

In den letzten Darstellungen der Abb. 16 sind einige Angaben über die absoluten Pollenniederschläge von Nichtbaumpollen beigefügt. Sie besagen fast durchwegs, daß die Zeiten, die für den Baumwuchs günstiger waren, auch für Sträucher und Kräuter günstiger waren; dagegen bestehen in Einzelheiten vielfach Abweichungen. Die absolut stärkere Vertretung von Kräutern und Farnen im mittlern Teil der Kiefernzeit spricht für eine gewisse Auflockerung der Bergföhrenbestände.

Das absolute Pollendiagramm ist vorläufig nicht weiter nach oben ausgebaut worden, obwohl es auch dort manchen interessanten Fingerzeig geben könnte. Dagegen hat sich die Zahl der Baumpollen pro cm² Präparatfläche als Ersatz erster grober Näherung erwiesen. Profil XII (Abb. 16) gibt eine Vergleichsmöglichkeit zwischen den beiden Größen. Man kann mit Genugtuung feststellen, daß die Präparate im allgemeinen tatsächlich pollenreicher ausfallen, wenn der absolute Pollenniederschlag einer Zeit größer geworden ist. Die Änderung von einem Wert zum andern darf allerdings nur selten direkt auf den Pollenniederschlag übertragen werden; dagegen gibt der Kurvenverlauf im großen den säkularen Ablauf des Pollenverlaufs gut wieder.

Werfen wir in Anwendung dieser Erkenntnis noch einen Blick auf die Verhältnisse in der EMW-Zeit (s. Abb. 15, Profil XI). Die relativ gute Übereinstimmung der Spätglazialzeit zwischen Profil XI und XII springt in die Augen. (Man beachte die Maßstabverschiedenheit!) Der Steilabfall der frühwärmezeitlichen Pollenkurve fällt auch hier mit dem Abfallen der Kiefernkurve zusammen und dürfte, wie schon gesagt, dadurch bedingt sein. Mit der Depression der Pollenzahl ist ein breiter, ca. 300—400 Jahre dauernder hoher Haselgipfel synchron, der gegen eine Klimadepression spricht. Trotzdem deutet die Einschwemmungskurve da-

rauf hin, daß der Haselabschnitt nicht zu den warmtrockenen Teilen der EMW-Zeit gehört. Er dürfte eher warm und von kontinental-torrentiellen Niederschlägen gekennzeichnet gewesen sein; darauf deutet ja wohl auch die relativ starke Vertretung der Eiche während der Haselphase. Mit dem Rückgang der torrentiellen Einschwemmungen steigt die Pollenzahl, breitet sich offensichtlich der EMW, besonders Linde und Ulme, aus und erscheint die Tanne als ständiger schwacher Begleiter. Nach einer für den EMW besonders günstigen Phase um 4300 v. Chr. sinkt um 4000 v. Chr. die Pollenproduktion, steigt die Hasel etwas an und gewinnt Ulmus unter den EMW-Komponenten die Oberhand. Den weiteren Kurvenverlauf im Detail zu verfolgen, hat keinen Sinn, da durch größere Änderungen in den Jahresschichtdicken die Zuverlässigkeit der Pollendichte als Index für die Pollenproduktion abnimmt.

d) Die absolute jährliche Sedimentation von Einschwemmungsmergel, Seekreide und organischem Material. Sekuläre Schwankungen und Klima.

Wir haben im letzten Abschnitt die Nachteile (und Vorteile!) einer Prozentkurve, d. h. einer Relativkurve kennen gelernt. Die Berechnung von Prozentwerten verlangt in jedem Fall, daß irgend eine Größe oder Summe als Bezugsgröße gleich 100 gesetzt wird. Es ist damit meistens stillschweigend (und das ist das Schlimme!) vorausgesetzt, daß diese Größe stets unveränderlich bleibe. Diese Frage nach der konstanten Bezugsgröße ist es, die den Grund darstellt für die Streitfragen, ob man *Corylus*, ob man *Alnus* in die Pollensumme hineinrechnen solle oder nicht, ob das Nichtbaumpollenprozent oder die Pollensumme pro Torfmengeneinheit Waldlosigkeit anzuzeigen vermöchten, oft auch, ob ein Kurvenanstieg eine Klimabesserung oder einen Rückschlag bedeute. Wie problemlos gibt da die Jahrespollenniederschlagskurve alle absoluten Werte ohne Beziehung auf eine andere Größe als die Zeit! Wie problemlos gibt diese Kurve an, ob es sich um Massenv egetation (z. B. Wald) oder um lockere Streuung handelt! Wieviel sicherer läßt sich eine Klimaänderung aus dem Kurvenverlauf herauslesen, wenn man weiß, welche Arten in Wirklichkeit zugenommen haben und nicht nur, welche relativ zum gan-

zen Artenbestand stärker vertreten sind. Natürlich ist hier die Beziehung zweier Arten zu einander auch immer wichtig.

In ähnlicher, diskutabler Lage befinden sich die Relativwerte unserer Sedimentanalysen. Da wir bei der Betrachtung der Analysenwerte unwillkürlich an die jährlich wiederkehrenden Vorgänge denken, die ihre Ursache waren, setzen wir durch die Prozentbildung stets stillschweigend voraus, die Jahressumme aller drei Komponenten sei eine konstante Größe. Deshalb mußte es angesichts der Kenntnis der mittlern Schichtdicke kurzer Zeitabschnitte (meist 50 Jahre) mein Bestreben sein, die Reduktion auf absolute mittlere Sedimentmengen durchzuführen.

Die Prozente der Sedimentanalysenwerte basieren auf dem Gewicht der drei Komponenten. Da nun aber nicht die Gewichte der drei Jahresschichten, sondern ihre Dicken bekannt sind, wäre eine Umrechnung auf das Volumen nötig. Spezifisches Gewicht, Körnung und Enge der Packung des Gemisches sind aber unbekannt. Deshalb wende ich die erhaltenen Prozentwerte kurzerhand auf die Schichtdicken an, berechne also die jeweiligen jährlichen Schichthöhen jeder Komponente. Es ist klar, daß dadurch das organische Material unterrepräsentiert, der Ton überrepräsentiert erscheint.

Die in den Abb. 15 und 16 (Profil XI und XII) am linken Rand dargestellten Kurven sind noch in anderer Weise verändert worden. Wie S. 37 dargelegt wurde, ist normalerweise nicht reiner Ton, sondern Mergel eingeschwemmt worden, der einen Kalkgehalt von 25—40 % aufweist. Für die hier in Frage kommenden ältern Abschnitte dürfte ein Kalkgehalt von 40 % nicht zu hoch gegriffen sein. Ich multiplizierte deshalb alle Tonprozente mit 1,67 und subtrahierte den so zum Ton geschlagenen Kalk vom Kalkprozent jeder Probe.

Das so erhaltene Kurvenbild sei anhand des umfassenderen Profils XI (Abb. 15) diskutiert. Da zahlreiche Einzelheiten nicht nur von beschränktem Interesse, sondern wahrscheinlich auch noch mit einer bestimmten Unsicherheit behaftet sind, seien nur die großen Züge betont.

- aa) 1. Weidenzeitabschnitt (bis 7600 v. Chr.): Hohe Mergeleinschwemmung; sehr wenig Seekreide; Organisches mäßig, wohl zum größten Teil eingeschwemmt.

- bb) 2. Weidenzeitabschnitt (7600—7100 v. Chr.): Mergeleinschwemmung etwa wie zur Zeit des ausgehenden EMW und der beginnenden 1. Buchenzeit; geringe Seekreidebildung; geringe Produktion organischen Materials.
- cc) 3. Weidenzeitabschnitt (7100—6650 v. Chr.): Mergeleinschwemmung geringer, doch noch immer stark dominierend; Seekreidebildung nimmt beträchtlich zu; die Sedimentation von organischem Material ist gering.
- dd) Hippophaë-, Birken-, Birken-Kiefern-Abschnitt (6650—6050 v. Chr.): Stark verminderte Mergeleinschwemmung; starke Seekreidebildung, besonders in der ersten Hälfte des Abschnitts dominant; das Organische erreicht gegen das Ende dieses Abschnittes einen beträchtlichen Höhepunkt.
- ee) Mittlere Kiefernzeit (6050—5350 v. Chr.): Mergeleinschwemmung so massiv wie im 2. und 3. Weidenzeitabschnitt, stark dominant; Seekreidebildung abgeschwächt, ebenso das Organische.
- ff) Sekundärer Birkenanstieg (5350—5050 v. Chr.): Stark reduzierte Einschwemmung und etwas erhöhte Seekreidebildung halten sich die Waage; das Organische nimmt stark zu.
- gg) Zeit des Haselgipfels (5050—4700 v. Chr.): Leicht vermehrte Einschwemmung; stark reduzierte Seekreidebildung; starke Sedimentation organischen Materials.
- hh) Zeit des trockenen EMW (4700—3950 v. Chr.): Stark verminderte Mergeleinschwemmung (Minimum der Nacheiszeit um ca. 4300 v. Chr.); erhöhte, jedoch nur zeitweise dominante Seekreidebildung; organisches Material eher etwas zurückgegangen.
- ii) Atlantische EMW-Zeit (3950—3250 v. Chr.): Mergeleinschwemmung deutlich erhöht, um 3800 v. Chr. vorübergehend kulminierend; Seekreidebildung stark schwankend, zeitweise gering, zeitweise auf der Höhe der Mergeleinschwemmung; Organisches etwas erhöht.
- kk) Übergang EMW/1. Buchenzeit (3250—3000 v. Chr.): Sehr stark erhöhte Mergeleinschwemmung in der Höhe des zweiten Weidenzeitabschnittes und der mittlern Kiefernzeit; gleichzeitig starke Seekreideproduktion; Organisches etwa gleichbleibend, ziemlich hoch.

Für die Deutung und für die Erklärung der Entstehung der angeführten Kurvenschwankungen ist folgender Zusammenhang wertvoll: Trägt man Einschwemmung und Seekreide als Koordinaten eines Streudiagramms auf, so erkennt man zwei Gesetzmäßigkeiten (Abb. 30):

1. Die Streuungsgebiete für gewisse, auch schon pollenanalytisch als mehr oder weniger einheitlich erkannte Abschnitte der Nacheiszeit sind beschränkt oder decken sich nur teilweise. Bei-

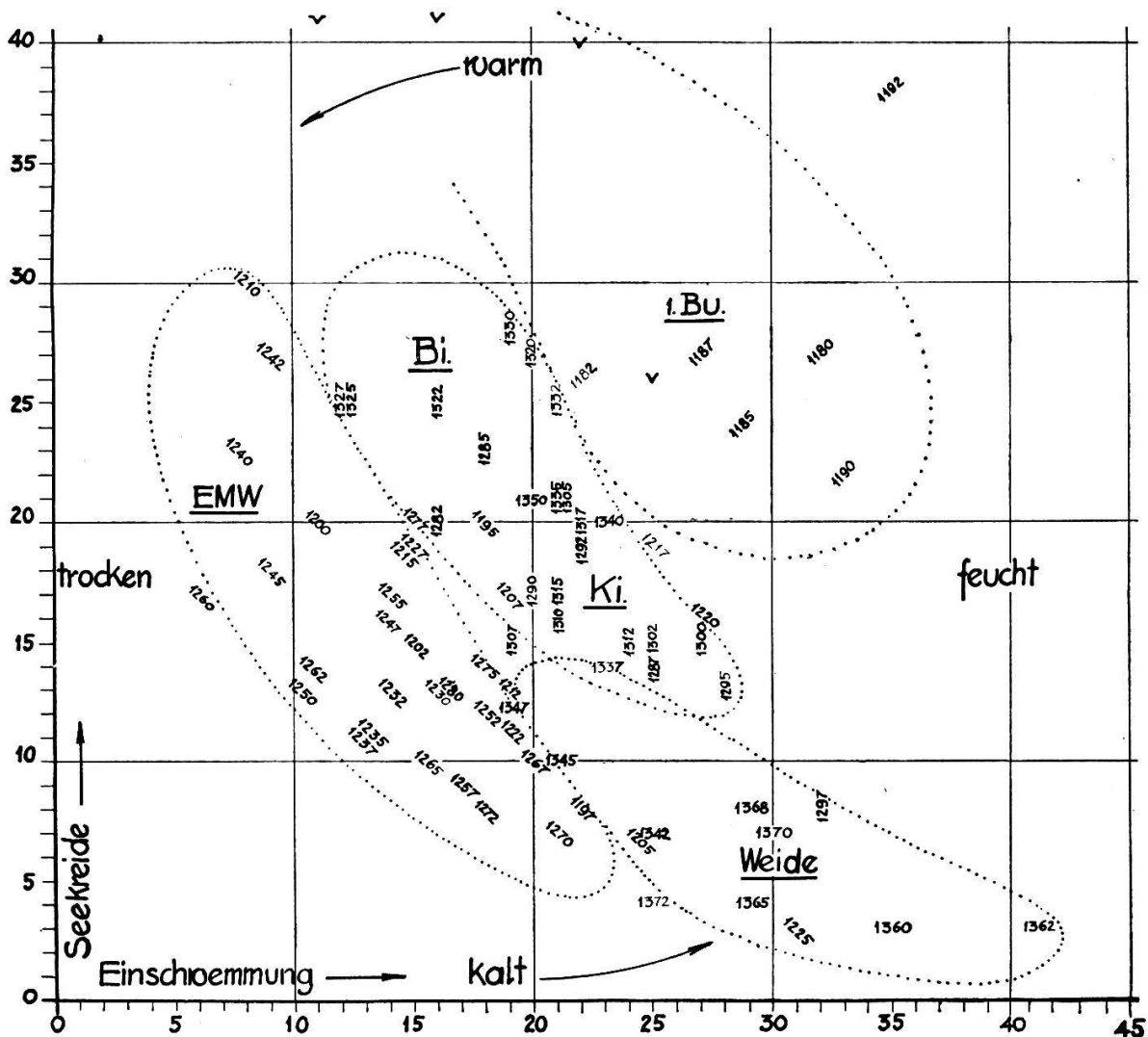


Abb. 30. Streudiagramm zu den Sedimentanalysen in Profil XI. Die Abb. zeigt den Zusammenhang zwischen der Schichtdicke der jährlichen Einschwemmung, der Schichtdicke der jährlichen Seekreidebildung (die Zahlen der Abszisse und Ordinate bedeuten Hundertstel-Millimeter) und den nacheiszeitlichen Waldabschnitten. Die eingetragenen Zahlen bezeichnen die Lage der Einzelprobe in Profil XI (Tiefe in cm); waagrechte Zahlen: Weidenzeit; senkrechte Zahlen: Birken- und Kiefernzeit; linksschräge Zahlen: EMW-Zeit; rechtsschräge Zahlen: 1. Buchenzeit; v = Ergänzungswerte aus der 1. Buchenzeit des Profils IX.

nahe sprunghaft ändert beim Übergang zu einem neuen Abschnitt das Streuungsgebiet. Die Weidenzeit ist charakterisiert durch viel Einschwemmung und wenig Seekreide, die Birken- und Kiefernzeit durch mittlere Einschwemmung und mehr Seekreide, die EMW-Zeit durch geringe Einschwemmung und mittlere Seekreidebildung, der Übergangsabschnitt zur 1. Buchenzeit durch viel Einschwemmung und viel Seekreide.

2. Alle Streuungsgebiete stellen mehr oder weniger Ellipsen dar, deren größere Achse das Zwei- bis Dreifache der kleinern beträgt. Diese größere oder Hauptstreuungsachse verläuft von hohen Seekreide- und kleinen Einschwemmungswerten zu kleinen Seekreide- und hohen Einschwemmungswerten.

Diese zweite Streuungseigenschaft bedeutet, daß bei vermehrter Einschwemmung normalerweise die Seekreidebildung zurückgeht, bei Zurückgehen der Einschwemmung aber zunimmt. In quantitativer Hinsicht gilt sogar annähernd umgekehrte Proportionalität zwischen den beiden Größen (für die hier vorliegende Wassertiefe von 12—14 m des Faulenseeins in der Zeit von 7500 bis 2800 v. Chr.). (Es sei betont, daß es sich hier um die absoluten Werte, nicht um die Prozentwerte handelt, bei denen die erwähnte Eigenschaft zwar auch gilt, jedoch nichts als die logische Folge der Prozentberechnung darstellt.) Wir schließen daraus auf die in der Limnologie (z. B. Huber-Pestalozzi, 1926) bekannte Erscheinung, daß Mergeleinschwemmung und vermehrter Wasserdurchfluß die Schwebeflora hemmt oder gar teilweise vernichtet.

Die erste Streuungseigenschaft, die ruckweise Änderung des Streuungsgebietes, deutet darauf hin, daß auch die Ursachen ruckweise änderten. Als Hauptursache kommt hier wohl nur das Klima in Betracht. Vereinzelt mag allerdings das Klima auch indirekt durch Ermöglichung der Bewaldung wirken, so vor allem beim Übergang von der Weidenzeit zur Birkenzeit, indem während der Birkenzeit die Einschwemmung durch die Bewaldung reduziert wurde. Wieso steigt das Einschwemmungsmaterial aber gerade in dieser Birkenzeit dann doch wieder an? Doch wohl nur aus klimatischen Gründen.

In ganz überraschender Weise läßt sich anhand der absoluten Sedimentzahlen in Profil XI (Abb. 15) in Verbindung mit Abb. 30 nachweisen, daß die Ursache der großen Waldphasenänderungen das Klima war:

A. Der Übergang Weidenzeit-Birkenzeit ist klimatisch bedingt: Alle Proben bis und mit 1342,5 cm liegen innerhalb des typischen Streubereichs der Weidenzeit (bloß 1350 cm springt schon früher etwas heraus); 1340 cm springt in den Bereich der Kiefernzeit hinauf; darauf bringt 1337,5 cm einen Rückschlag an die Grenze der Weidenzeit, bereits Probe 1335 cm steigt aber ins Streugebiet der Birkenzeit hinauf, obwohl sie in ihrem Pollengehalt noch rein weidenzeitlich ist, zugleich aber die letzte Weidenzeitprobe darstellt; auch die Werte des Hippophaë-Abschnittes liegen bereits typisch im Streubereich der Birkenzeit, obwohl die eigentliche Bewaldung mit Birken erst bei Probe 1330 cm einsetzt, somit ungefähr 100 Jahre nach der sedimentanalytisch festgestellten Klimabesserung.

B. Der Übergang Kiefernzeit - EMW - Zeit ist klimatisch bedingt: Alle Proben von 1315—1287,5 cm liegen im Bereich der auch im Streuungsdiagramm typischen Klimadepression (zwischen den birken- und weidenzeitlichen Streupunkten); Probe 1285 cm steigt in den Bereich der Birkenzeit auf; Probe 1282,5 cm wechselt plötzlich an die Grenze zwischen den Streubereichen der Birken- und EMW-Zeit, während schon die folgende Probe 1280 cm mitten im Streubereich der EMW-Zeit liegt; alle folgenden Proben liegen gänzlich im typischen EMW-Streugebiet. Während das Sediment bei 1280 cm den Wechsel zur EMW-Gesetzlichkeit vollzogen hat (mein Feldprotokoll meldet oberhalb 1281,5 cm braune Gyttja mit Schnecken und Pisidien, unterhalb 1281,5 cm tonig-seekreidige Masse mit Tonstreifen!), liegt der Pollengehalt der Kiefer noch bei fast 80 %, derjenige der Birke bei fast 20 %. Erst rund 150 Jahre später erreichte der EMW 20 % (bei 1275 cm), die Hasel 37 %, und erst nach weitem 100 Jahren überflügelt der EMW-Pollen den Kiefernpollen. Die vollständige Verdrängung der Kiefer durch EMW und Hasel dauert rund 450 Jahre vom Moment des Sedimentwechsels an gerechnet.

C. Der Übergang EMW-Zeit/1. Buchenzeit ist klimatisch bedingt: Mit Ausnahme der Proben 1220 und 1217,5 cm, die durch eine erste feuchte Schwankung die Voraussetzung für den Tannenanstieg bei 1215 cm darstellen, liegen alle EMW-Zeit-Proben in einem typischen, geschlossenen Streubereich. Probe 1197,5 cm liegt noch typisch; doch schon Probe 1195 cm

schwankt gänzlich an den Rand des EMW-Streubereichs hinaus, worauf dann Probe 1192,5 cm einen gewaltigen Sprung in ein ganz neues Streufeld ausführt. 1192,5 cm weist noch den letzten EMW-Gipfel bei allerdings schon auf 6% angestiegener Buche auf. Doch erst bei 1187,5 cm erfolgt der Dominanzwechsel EMW/Tanne, also rund 100 Jahre nach ersten sediment-analytischen Zeichen für einen Klimawechsel. Für dieses typische Beispiel eines klimabedingten Waldwechsels ist die Anwesenheit der Tanne 1500 Jahre, diejenige der Buche rund 500 Jahre vor ihrer Dominanz in der Gegend erwiesen und die Klimabedingtheit schon aus diesem Grunde sichergestellt. Für eine evtl. noch frühere Anwesenheit der Buche in den benachbarten Gegenden des bernischen Mittellandes sprechen die Untersuchungen von Rytz (1937).

Welches die eigentlichen klimatischen Änderungen sind, die jeweils die sprunghaften Änderungen des Streubereichs auslösen, ist natürlich nicht leicht zu sagen. Sicher ist, daß die Sprunghaftigkeit der Entwicklung zu einem guten Teil von der biologischen Reaktion von Einzellebewesen und Gesellschaften herührt, die darin besteht, daß bei Änderung eines ökologischen Faktors eine grundlegende Änderung erst dann eintritt, wenn der betreffende Faktor den Minimumwert oder den Maximumwert der Art durchschreitet. Trotz diesen an sich plausiblen Verhältnissen bleibt die Tatsache starker Klimaänderungen innerhalb weniger Jahrhunderte merkwürdig genug.

Nur bei schematisierender Vereinfachung ist vielleicht eine gewisse Auswertung möglich: Wenn bei gleichbleibender jährlicher Einschwemmung die Seekreidebildung zunimmt, so sind daran entweder bessere Temperaturverhältnisse oder geringere Störung durch Einschwemmung schuld. Wenn anderseits bei vermehrter Einschwemmung die Seekreidebildung konstant bleibt, so ist entweder an eine Zunahme gleichmäßig verteilter Niederschläge (ohne Schädigung der Wasservegetation) zu denken oder aber an höhere vegetationsfördernde Temperaturen bei gleichzeitig erhöhten torrentiellen Einschwemmungen mit ihren zeitweiligen Störungen der Vegetation.

Bedenkt man nun, daß innerhalb jedes klimatisch mehr oder weniger einheitlichen Abschnittes starke Zu- und Abnahmen der Intensität einzelner Niederschläge als kurzfristige Witterungs-

schwankungen zwischen ozeanischen und kontinentalen Jahreszyklen bereits zur vollen Auswirkung auf die Vegetation und damit auch auf die Sedimentzusammensetzung gelangen, scheint es gegeben, die zweite jeweils oben aufgeführte Möglichkeit in den Hintergrund treten zu lassen. So scheint mir, daß man bei Verschiebung des Streugebiets in ein Gebiet stärkerer Seekreidebildung auf ein wärmeres, in ein Gebiet stärkerer Einschwemmung auf ein feuchteres Klima schließen darf. Ich setze deshalb an den obern Rand unseres Streudiagramms die Bezeichnung «warm», an den untern «kalt», an den linken «trocken», an den rechten «feucht». Da zunehmende Niederschläge an und für sich ein Klima kühler machen resp. ein wärmeres Klima für die Landvegetation erträglicher gestalten, dürfte im Streudiagramm Abb. 30 die Achse des Wärmeklimas etwas in der eingezeichneten Pfeilrichtung verschoben sein.

Innerhalb des Streugebietes glaube ich die untern Teile rechts als die kontinentalen, die Teile links oben als die ozeanischen bezeichnen zu können. Bei gegebenen Niederschlagsmengen ist nämlich die kontinentale Massierung der Niederschläge wohl dasjenige, was die Wasservegetation schädigt. Wir verzichten demnach darauf, neben dem Temperaturklima und dem Niederschlagsklima ein spezielles Kontinentalitäts- (oder Ozeanitäts-) klima anzuführen. Das scheint uns seine volle Berechtigung darin zu finden, daß es ja bei gegebener Lage eines Ortes auf dem Kontinent und zu den Massenerhebungen in unsern Gegenden kaum je zu extremen Verschiebungen im Kontinentalitätsgrad gekommen sein dürfte.

Unsere Betrachtungsweise vermittelt uns nun folgende Übersicht über die wichtigsten Klimate der Nacheiszeit:

| Zeitabschnitt | Temperatur | Feuchtigkeit |
|------------------|-------------|-----------------|
| Weidenzeit | kalt | feucht |
| Birkenzeit | mittel—kühl | mittel |
| Kiefernzeit | kühl | ziemlich feucht |
| Haselzeit | mittel—warm | mittel—trocken |
| Mittl. EMW-Zeit | warm | trocken |
| Atlant. EMW-Zeit | mittel | trocken—mittel |
| 1. Buchenzeit | warm | feucht |
| (Tannenzeit) | (mittel) | (mittel) |

Die Lage der Proben aus der EMW-Zeit und aus der 1. Buchenzeit werden durch die Ergebnisse aus Profil XI bestätigt; deshalb stehe ich nicht an, die aus Profil IX folgenden Ergebnisse für die Einreihung und Anfügung der Tannenzeit zu verwenden und am Schluß der Tabelle folgen zu lassen. Es wäre wertvoll, die gleiche Betrachtungsweise auf alle spätern Abschnitte der Waldentwicklung anzuwenden; doch sind es zwei Gründe, die diese Ergänzung vorläufig verbieten: die abnehmende Wassertiefe mit ihren veränderten Sedimentationsverhältnissen und die für diese Zeiten wahrscheinlichen Rodungen mit ihrem veränderten Wasserregime.

Es liegt mir fern, auf Grund dieser klimatischen Indizien ein selbständiges Klimasystem aufzubauen. Der Vergleich mit verschiedenen diesbezüglichen Ergebnissen der letzten 20 Jahre spricht allerdings für eine weitgehende Richtigkeit der vorgebrachten Gedankengänge. So fällt die Kulmination der Wärme dorthin, wo sie gewöhnlich gesetzt wird, in den Anfang der atlantischen ersten Buchenzeit, evtl. in die mittlere Eichenmischwaldzeit. In Übereinstimmung mit Oberdorfer (1931) bezeichnen wir die Birken-, die mittlere EMW-Zeit und später die zweite Buchenzeit als trocken. Für geradezu ruckweise Besserung des Klimas am Ende der Weidenzeit und zu Beginn der Haselzeit tritt ebenfalls Oberdorfer (1937) entschieden ein. In bezug auf die Feuchtigkeitsschwankungen finden wir weitgehende Übereinstimmung mit den Ergebnissen Lüd is (1935 c): Der Seespiegel des Neuenburgersees war im frühen Spätglazial vermutlich hoch, zur Birkenzeit tief, in der Kiefernzeit hoch; im Schnittpunkt Hasel/Eichenmischwald liegt er ziemlich tief, steigt vorübergehend, endgültig und stark aber am Ende der EMW-Zeit und in der Tannenzeit, um seinen tiefsten postglazialen Stand in der Bronzezeit zu erreichen (2. Buchenzeit). Zahlreiche andere Übereinstimmungen könnten aufgeführt werden, z. T. aber widersprechen sich die heranzuziehenden Ergebnisse unter sich, z. T. ist infolge sehr großer räumlicher Entfernung der Vergleich mit ihnen hypothetisch.

VII. Zusammenfassung.

Im Laufe lokaler waldgeschichtlicher Untersuchungen im Simmental im westlichen Berner Oberland stieß ich im Faulenseemoos (590 m ü. M.) bei Spiez am Thunersee auf ein Moor, das durch seine große Tiefe, gute Erhaltung und sein Fortwachsen bis in die Neuzeit eine möglichst vielseitige Untersuchung und Auswertung nahelegte. Die Entstehung und Auszählung einer äußerst gut erhaltenen Jahresschichtung wird in Kapitel V behandelt; diese Schichtung erlaubt die Aufstellung einer eigenen mitteleuropäisch-voralpinen Chronologie seit dem Eisfreiwerden des Moores; ihr Anschluß an die christliche Zeitrechnung erscheint soweit gesichert, daß in der vorliegenden Zusammenfassung jeweils Jahreszahlen genannt werden, um den chronologischen Ablauf der Ereignisse möglichst einfach und anschaulich darzulegen.

Hand in Hand mit den pollenanalytischen Untersuchungen, die vielfach in sehr kleinen Probeabständen durchgeführt wurden, erfolgten Bestimmungen von Begleitpollen, von Gramineen, von Getreidepollen (S. 44 ff.), von Juglans-Pollen (S. 48), der verschiedenen Spätglazialbegleiter (Fossillisten, S. 75, 80, 84), wurde die Artunterscheidung für *Betula* und *Pinus* einer neuerlichen Prüfung unterzogen (Kap. IV, S. 88), wurden Sedimentanalysen (Kalk, Organisches, Ton, S. 34 ff.) ausgeführt, kurzfristige Mittel der jährlichen Sedimentation (S. 182) und des jährlichen Pollenniederschlags auf die Einheitsfläche (S. 170) bestimmt, Pollenhäufigkeitswerte ermittelt (S. 55, 69, 181). Zum erstenmal ist wohl ein absolutes Pollendiagramm aufgestellt worden (S. 174 und Abb. 16).

Die Ergebnisse lassen sich am besten übersehen an Hand der Pollen- und Sedimentdiagramme Abb. 16, 15, 11 und an Hand der Übersichtstabelle S. 140.

Der Aaregletscher hat sich offenbar sehr rasch von Muri und den kurzen Halten bei Jaberg-Wichtrach und Thun-Strättli- gen über die Thunerseegegend zurückgezogen. Ungefähr ums Jahr 7700 v. Chr. dürfte er die Mulde des Faulenseemooses freigegeben haben. Starke Erosionstätigkeit im vegetationslosen Gletschervorfeld führte rasch zur Ablagerung einer rund 1 m mächtigen blauen Seemergelschicht im ehemaligen Faulensee- ein. Sogleich ergriffen Pioniere der Pflanzen- und Tierwelt Besitz von

den Kahlflächen und Gewässern (Pionierstadium einer alpinen Tundra). Diese hatten an den eisfreien Hängen der Umgebung die Vereisung überdauert (S. 81/82). Für das Überdauern baumförmiger Birken oder Bergföhren als Relikte an eisfreien Stellen liegen keine Anhaltspunkte vor (S. 77/78), indem die gefundenen Pollenkörner nach den Befunden Aarjos (1940) in Finnisch-Lappland wohl dem Fernflug zuzuschreiben sind (S. 76). Nach dem charakteristischen Pollentyp des ganzen Spätglazials (*Salix*-Typus) bezeichnen wir diesen lokalen Pionierabschnitt als 1. Weidenzeitabschnitt.

Mit dem Einsetzen der Wasserbesiedlung (Seekreidebildung!) um 7550 v. Chr. scheinen sich alpine Trockenrasen in der Gegend auszubreiten. Ein häufig auftretendes Pollenkorn konnte mit großer Wahrscheinlichkeit als *Helianthemum alpestre* bestimmt werden (S. 53/54). Weiden und Gramineen schließen bereits so eng zusammen, daß die Mergeleinschwemmungen stark zurückgehen (2. Weidenzeitabschnitt).

Eine abermalige Klimabesserung, die dem Pollendiagramm den lokalen Charakter endgültig nimmt (S. 83), führt zum 3. Weidenzeitabschnitt mit gesteigerter Seekreidebildung, erhöhter Pollenzahl, ausgeprägtem Farnsporenvorkommen, Einwanderung und Ausbreitung der Zwergbirke und wohl der ersten Großbirken (nordisch-alpine Tundra mit Gebüschinseln von Zwergbirken und niedrigen Weiden).

Ungefähr ums Jahr 6750 v. Chr. setzt fast unvermittelt eine starke Klimabesserung ein, die sich vorerst aber nur im Sediment (Wasservegetation!) bemerkbar macht (S. 187); bald steigt die Zahl der Großbirkenpollen stark an, wohl z. T. nur infolge günstiger Blühbedingungen (S. 173/74), später aber auch infolge einer Vermehrung der Baumzahl. Interessanterweise nimmt erst *Betula pubescens* überhand, überläßt dann aber bei weiterer Klimabesserung den Platz der etwas anspruchsvolleren *Betula verrucosa* (S. 94). In diesem Übergangsabschnitt günstiger Wärmebedingungen und eines sich erst entwickelnden Birkenwaldes breitet sich massenhaft und fast explosionsartig *Hippophaë rhamnoides* aus, weshalb wir diesen Übergangsabschnitt, der vielleicht nur 150 Jahre gedauert hat, als Hippophaë-Abschnitt bezeichnen (S. 86). In ihm geht der Nichtbaumpollen zurück und deutet ebenfalls die zunehmende Bewaldung an.

Die stark zurückgegangene Mergeleinschwemmung und sehr intensiv gewordene Seekreidebildung bringen einen Sedimentwechsel zustande, der gewöhnlich schon makroskopisch leicht erkennbar ist und in unserer Gegend den Übergang von der Weidenzeit zum Hippophaë-Abschnitt und der Birkenzeit zuverlässig bezeichnet. Ungefähr mit dem Jahr 6650 v. Chr. beginnt die *Birkenzeit* (zur Hauptsache *Betula verrucosa*), die nach Sediment, Pollenzahl und Artbestand unbedingt als relativ günstiger Klimaabschnitt zu deuten ist. Sie charakterisiert sich durch ihre kurze Dauer von rund 300 Jahren als Übergangsstadium der progressiven Waldentwicklung. Zu dieser Zeit wandern die Kiefern, und zwar bezeichnenderweise von Anfang an die Waldföhre und die Bergföhre ein (S. 102 und 107). Das Übergangsstadium wird weiterhin dadurch betont, daß der Dominanzwechsel mit der Kiefer (um 6350 v. Chr.) von keinen Anzeichen einer Klimaänderung begleitet ist; das Sediment ändert nicht, der absolute jährliche Pollenniederschlag nimmt weiterhin zu, die absolute Zahl der Birkenpollen geht nicht zurück, wohl aber die relative; die Kiefern scheinen eine ganz ungewöhnliche klimatische Förderung erfahren zu haben, wodurch wahrscheinlich der lockere Birkenwald durch Kiefern geschlossen worden ist. Immer noch findet sich ein mäßiger Anteil von *Betula nana*. Die Entwicklung zu einem günstigeren Klima ist von Rückschlägen nicht verschont: Birkennachgipfel mit etwas vermehrter *Betula pubescens* und vermehrter *Pinus montana* werden nachgewiesen.

Auf den Gipfel der Klimabesserung um 6200—6100 v. Chr. folgt um 6000 v. Chr. ein ungewöhnlich starker Klimarückschlag: starke Mergeleinschwemmungen treten auf, *Betula verrucosa* tritt ganz zurück, ebenso *Pinus silvestris*, der jährliche Pollenniederschlag sinkt beträchtlich ab, charakteristische Begleitpollen der Weidenzeit treten wieder auf. Ein ziemlich reiner, wohl eher lichter Bergföhrenwald bedeckt die Gegend, während die Hochlagen unserer Berge die vermehrten Schneefälle einer Schlußvereisung tragen. Sie allein kann die Vegetation des Tales so nachhaltig beeinflußt haben. Sie dauert mit einem kurzen Unterbruch in der Mitte rund 600 Jahre (*Kiefernzeit*).

Ungefähr mit dem Jahre 5400 v. Chr. beginnt eine fast überstürzte Klimabesserung: sie ist durch den Rückgang der massiven Mergeleinschwemmungen schon äußerlich gekennzeichnet und

deutet durch die Zunahme des organischen Sedimentationsmaterials auf ein Günstigerwerden des Klimas; folgerichtig macht sich wieder *Betula verrucosa* breit, geht die Bergkiefer zurück; die Baumpollenzahl pro cm² und Jahr erreicht das ungewöhnliche Maximum von über 8000 Stück; Eichenmischwaldkomponenten stellen sich ein; die Hasel erscheint. Wenn in dieser Zeit die klimatische Förderung des Vorhandenen einen sekundären Birkenanstieg zustande bringt, so darf man diesen nicht schematisch (nordischer Birkenwald!) als Klimarückschlag deuten.

In der Zeit von 300 bis 400 Jahren war in unserer Gegend der Umsturz vollzogen: Hasel und Eichenmischwald lösten den Kiefernwald ab. Der Beginn der postglazialen Wärmezeit ist nach unserer Chronologie gleichzeitig mit dem Beginn im Norden (5400 resp. 5000 v. Chr.). Für eine Wanderung wärmeliebender Gehölze in geschlossener Formation nach Norden (Firbas) bleibt keine Zeit übrig; wir halten dafür, daß eine frühe sporadische Verbreitung die Grundlage dieser Entwicklung war (vgl. S. 68, 179). Die riesige Haselentwicklung des ersten Abschnittes (500 %!) dürfte eine Folge anfänglich ungewöhnlich günstiger Konkurrenzverhältnisse gewesen sein. Ganz allmählich tritt dann die Hasel zurück.

Der eigentliche EMW ist in unserer Gegend durchwegs von der Ulme dominiert, hat also montan-subalpinen Charakter; anfangs folgen Linde und Eiche etwa im gleichen Verhältnis nach, später tritt die Eiche stark zurück. Reinsten EMW und zugleich die geringste postglaziale Einschwemmung findet man um 4300 v. Chr. Schon um diese Zeit, vielleicht noch beträchtlich früher, tritt die Tanne, etwas später auch die Buche sporadisch im EMW auf. Sie finden kräftige Förderung durch vermehrte Niederschläge im atlantischen Teil der EMW-Zeit, etwa von 4000 v. Chr. an.

Vorstöße und Rückschläge, die hauptsächlich klimatisch bedingt scheinen, führten schließlich um 3200 v. Chr. die Buche (vereinzelt und vorübergehend die Tanne) zur Dominanz. Mit dieser 1. Buchenzeit beginnt in Faulensee eine Buchenzeitenreihe, wie sie selten so schön und vollständig vorgelegt werden kann (s. Abb. 11). Diese erste Buchenzeit und die nachfolgende Tannenzeit umfassen nach neuern Untersuchungen (Lüdi, 1935 d, und Härry, 1940) das jüngere Neolithikum. In Faulensee wird diese Buchenzeit zwischen 2350 und 1800 v. Chr. ebenfalls von einer

Tannenzeit abgelöst. Das Neolithikum geht mit der Tannenzeit zu Ende, und es spricht für die Zuverlässigkeit unserer chronologischen Datierung, daß wir hier die Jahrzahl 1800 v. Chr. finden, die auch in Kreisen der Prähistoriker als zutreffend erachtet wird für den Beginn der Bronzezeit.

In der 1. Buchenzeit, z. T. auch schon früher, finden sich die ersten Spuren von Fichtenpollen. In der Bronzezeit beginnen sich die Fichten auch in unsern Talwäldungen breit zu machen. Eine unruhige 1. Buchenmischwaldzeit (BMW) löst die Tannenzeit ab und dauert etwa bis zum Jahr 750 v. Chr. Unvermittelte Hasel- und Erlengipfel und teilweise massive Einschwemmungen legen den Gedanken der einsetzenden Rodungstätigkeit des Menschen nahe, nicht weniger natürlich aufgefundene Getreidepollen (S. 44). Die Vermutung findet ihre kräftige Stütze durch den Nachweis einer bronzezeitlichen Höhensiedlung auf dem angrenzenden Hügel der Bürg (Tschumi, 1938).

Eine trockenwarme 2. Buchenzeit von ca. 750—450 v. Chr. schließt die Bronzezeit ab und scheint der Zeit des Grenzhorizonts im Norden zu entsprechen (S. 142) (Hallstatt).

Die nachfolgende 2. BMW-Zeit ist wieder kühler und feuchter, wie man der Zunahme der Fichte und den starken Einschwemmungen entnehmen kann. Sie dauert offenbar über die La Tène-Zeit hinaus bis in die Römerzeit.

Eine abermals trockene, aber weniger ausgeprägte 3. Buchenzeit (von 200—600 n. Chr.) scheint ganz der Betrachtungsweise von Gams und Nordhagen (1923) zu entsprechen, wonach eine Trockenzeit die Ursache der Wanderung von Völkern aus Innerasiens nach dem Westen gewesen sein dürfte.

Auf eine kühlere und feuchtere 3. BMW-Zeit folgte von rund 850—1250 n. Chr. eine 4. Buchenzeit, die zwar auch warm, jedoch feuchter als ihre Vorgängerinnen war.

Der Rest ist etwas uneinheitlicher als andere Abschnitte. Trotzdem sei er als 4. BMW-Zeit bezeichnet. Die Tanne verliert gegenüber der Fichte zusehends an Bedeutung. Pollen von *Juglans regia* tritt in diesem Abschnitt ständig auf und scheint darauf zu deuten, daß der Walnußbaum etwa vom Jahr 1000 n. Chr. an bei uns stärker kultiviert worden ist. Ob er schon durch die Römer oder erst durch die Karolinger und Burgunder eingeführt wurde, läßt sich kaum pollenanalytisch entscheiden. Die massivsten Ein-

schwemmungen des Postglazials, diejenigen um 1500 bis 1600 n. Chr., und die starke Fichtenausbreitung dieser Zeit mögen mit den größten historischen Gletschervorstößen, denjenigen um 1600, in Zusammenhang stehen (S. 144). In der darauffolgenden Trockenzeit scheint die Eiche stark begünstigt gewesen zu sein. Im rezenten Abschnitt (wohl zirka das letzte Jahrhundert) trat die Fichte als Dominante ungebührlich stark hervor (s. S. 45/46, 50); die Einschwemmungen sind ebenfalls stärker.

Trotz relativ starker Einschwemmung hat das Faulenseelein von früh an in biologischer Hinsicht sein eigengesetzliches Leben geführt. Ein oligotrophes Regime herrschte nur kurz nach dem Gletscherrückzug, z. T. in der frühen Weidenzeit. Mächtig setzten dann biologische Vorgänge ein, die in den Randpartien gewaltige Seekreideablagerung zur Folge hatten, während die See mitte geringen Seekreidezuwachs erhielt (S. 160/161). Erst mit dem Einsetzen größerer Wärme entwickelten sich derartige Mengen organischen Materials, daß eine vollständige Oxydation nicht mehr möglich war, und die Ablagerung von Gytjtja einsetzte (erste Anfänge im Birken-Kiefernabschnitt, besonders aber seit dem sekundären Birkenanstieg). Von dieser Zeit ab entsprach das Seelein seinem spätern Namen eines «faulen» Seeleins. Die gleichzeitige Seekreidebildung setzte nie aus, weil der kleine Zufluß immer mineralstoffreiches Wasser brachte, konzentrierte sich aber auf die Frühsommermonate; Überschüsse von organischen Sinkstoffen bildeten sich vorwiegend im Herbst und Frühwinter; als Folge dieser Periodizität entstand die genannte Jahresschichtung, die dank eines tiefen, flachen Seebeckens mit geringen Störungen sehr gut erhalten ist. In Abhängigkeit vom Klima (Wärme, Einschwemmung, Wassererneuerung) schwankt der Charakter des Sedimentmaterials von Seekreide zu Kalkgyttja, reiner Gytjtja, Tongytjtja und zu fast reinem Ton, wobei zwar die Einschwemmungen nie so stark sind, daß eine Störung und Unterbrechung der Schichtserie eintritt.

Die flachen Teile des Seeleins füllten sich schon in der Spätglazialzeit; der weitaus größte Teil war bis zum Ende der EMW-Zeit verlandet. Das oberflächlich entstandene Flachmoor stellte jeweils sehr bald sein Wachstum ein, täuscht aber infolge des rezenten Pollenregens und der selektiven Pollenzerersetzung (Seite 50/51) ein verlangsamtes Weiterwachsen bis in die Jetztzeit vor.

In den zentralen Teilen erhielt sich das Faulenseelein bis in die Zeit des ersten Weltkrieges, wo das Moor trockengelegt wurde. Seit der EMW-Zeit konnten sich dort noch 11 m Sedimente bilden (Abb. 11). Die Schichten oberhalb 7 m Tiefe sind offenbar durch grundbewohnende Lebewesen derart umgearbeitet worden, daß sie nur selten klare Jahresschichtung erkennen lassen.

Die Dicke der Jahresschichten beträgt im Mittel in 10 m Wassertiefe 0,5 mm, in 6 m Tiefe 0,75 mm, in 4 m Tiefe 1,6 mm und in 2 m Tiefe 2,4 mm, im Mittel für alle Tiefen 0,86 mm. Gleiche Schichthöhen aus verschiedener Tiefe umfassen also sehr ungleiche Zeiträume (S. 162/164). Die Jahresschichtdicke schwankt aber auch mit dem Klima, scheinbar in der Weise, daß wärmere Zeiten größere Sedimentmengen ergeben (S. 164 ff.).

Während der jährliche Pollenniederschlag (Baumpollen) pro 1 cm² Auffangfläche in Ravensburg zu rund 4000, in Davos zu 40 Körnern bestimmt wurde, ergaben meine Bestimmungen aus dem Spät- und Postglazial mehrere hundert bis mehrere tausend Körner (S. 170 ff.).

In bezug auf die spätglazialen Probleme der Geologie folgt aus den vorliegenden Untersuchungen eine vorläufige Datierung des Eisfreiwerdens der Thunerseegegend (ca. 7700 v. Chr.), womit die Rückzugs- resp. späten Vorstoß-Stadien von Jaberg und Thun in die Zeit kurz vorher verwiesen werden. Da sie mit Bühl gleichgesetzt werden, scheint eine Parallelisation des Bühlstadiums mit den fennoskandischen Endmoränen (den drei Salpausselkä-Stadien) im Norden auf der Hand liegen (s. S. 158). Andererseits gestatten die durchgeführten Untersuchungen, die Schlußvereisung auf die Zeit zwischen 6000 und 5400 v. Chr. zu legen. Ob eine Zweiteilung in Gschnitz und Daun am Platz ist, und ob sich die entsprechenden Lokalstadien wirklich bei Interlaken und Gutannen befinden, werden weitere Untersuchungen entscheiden müssen. Gegen die neuern Datierungsversuche an Hand der Strahlungskurven von Milankovitch werden Bedenken geäußert (S. 151 ff.).

Verzeichnis der zitierten Literatur.

- Aario, L.: Waldgrenzen und subrezente Pollenspektren in Petsamo, Lappland. Publ. Inst. Geogr. Univ. Helsing. 3, Helsinki 1940 (120 S).
- Assarson, G. und Granlund, E.: Eine Methode der Pollenanalyse von minerogenen Bodenarten. Geol. Fören. Stockholm Förh. 1924.
- Beck, P.: Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizeralpen. 1. Mitt. Naturw. Ges. Thun, Bern 1926.
- Studien über das Quartärklima im Lichte astronomischer Berechnungen. Eclog. Geol. Helvetiae 30 und 31, 1937 und 1938.
- Beck, P. und Gerber, E.: Geologische Karte Thun-Stockhorn 1 : 25.000. Spezialkarte Nr. 96, 1925.
- Bertsch, F.: Beitrag zur Kenntnis der spätglazialen Waldentwicklung im Alpenvorland. Zeitschr. f. Gletscherkde. 20, 1932, S. 445—450.
- Bertsch, K.: Blütenstaubuntersuchungen im Federseegebiet. Veröff. d. Staatl. Stelle f. Naturschutz b. Württ. Landesamt f. Denkmalpflege 4, 1928 a.
- Wald- und Florengeschichte der schwäbischen Alb. Veröff. d. Staatl. Stelle f. Naturschutz b. Württ. Landesamt f. Denkmalpflege 5, 1928 b.
- Broche, W.: Pollenanalytische Untersuchungen an Mooren des südlichen Schwarzwaldes und der Baar. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 29, 1929.
- v. Büren, G.: Der Gerzensee. Eine limnologische Studie. Mitt. Naturf. Ges. Bern aus d. J. 1935 (1936) (S. 29—94).
- Der Amsoldingersee. Mitt. Naturf. Ges. Bern aus d. J. 1937 (1938) (S. 50—132).
- Deecke, W.: Jahreszeitliche Spuren in der geologischen Stratigraphie. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 30, 1930 (S. 335—352).
- Erdtman, G.: Neue pollenanalytische Untersuchungsmethoden. Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel in Zürich 1935, 1936.
- Favre, J.: Les Mollusques post-glaciaires et actuels du Bassin de Genève. Mém. de la Soc. de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève, 40, 1927.
- Firbas, F.: Über die Waldgeschichte der Süd-Sevennen etc. Planta 13, 1931 (S. 643—664).
- Über die Bestimmung der Waldgeschichte und der Vegetation walddloser Gebiete mit Hilfe der Pollenanalyse. Planta 22, 1934 a, (S. 109—145).
- Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials. Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen, Abt. Biologie 1, 1934 b (S. 17—24).
- Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Rheinpfalz. Beih. z. Bot. Centralbl. 52, 1934 c, Abt. B, S. 119—156).
- Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials. Bibl. Bot. 112, Stuttgart 1935 (38 S.).
- Der pollenanalytische Nachweis des Getreidebaus. Zeitschr. f. Bot. 31, 1937 (S. 447—478).
- Vegetationsentwicklung und Klimawandel in der mitteleuropäischen Spät- und Nacheiszeit. Die Naturwissenschaften 27, 1939 (S. 81—89 und 104—108).
- Firbas, F. u. J.: Zur Frage der größenstatistischen Pollendiagnosen. Beih. z. Bot. Centralbl. 54, 1935, B (S. 329—35).
- Friedel, H.: Boden- und Vegetationsentwicklung im Vorfelde des Rhonegletschers. Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel in Zürich 1937, 1938 (S. 65—76).
- Fromm, E.: Geochronologisch datierte Pollendiagramme und Diatomeenanalysen aus Angermanland. Geol. För. i. Stockholm Förh. 60, 1938 (S. 365—81).

- Früh, J. u. Schroeter, C.: Die Moore der Schweiz. Bern 1904.
- Furrer, E.: Pollenanalytische Studien in der Schweiz. Vierteljahresschr. Naturf. Ges. Zürich 72, 1927, Beiblatt 14 (38 S.).
- Gams, H.: Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Wälder. Internat. Revue d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie 18, 1927 (S. 305—387).
- Sedimentation und Vermoorung der Lunzer Seen und des Lünensees. Verh. d. Internat. Vereinig. f. theoret. u. angewandte Limnologie 4, Rom 1929 (S. 325—32).
- Gams, H. u. Nordhagen, R.: Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. München 1923 (336 S.).
- de Geer, G.: Principles of Geochronology. Arkiv för Math., Astron. och Fysik 26 b, Nr. 16, Stockholm 1939 (11 S.).
- Gerasimov, D. A.: On the distinctive characteristics of the pollen of *Larix* and *Pinus Cembra* in peat. Geol. För. i. Stockholm Förh. 52, 1930 (S. 111—15).
- Gilomen, H.: Die Flora der westschweizerischen Kalkvoralpen. Mitt. Nat. Ges. Bern 1941 (S. 1—29).
- Granlund, E.: De Svenska Högmossarnas Geologi. Sveriges Geol. Undersökning C 373, Stockholm 1932 (193 S.).
- Groschopf, P.: Die postglaziale Entwicklung des großen Plöner Sees in Ostholstein auf Grund pollenanalytischer Sedimentuntersuchungen. Archiv f. Hydrobiologie 30, 1936 (S. 1—84).
- Gross, H.: Der Döhlauer Wald in Ostpreußen. Beih. z. Bot. Centralbl. 53, 1935 (S. 405—431).
- Härri, H.: Stratigraphie und Waldgeschichte des Wauwilermooses und ihre Verknüpfung mit den vorgeschichtlichen Siedlungen. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich 17, 1940 (104 S.).
- Hörmann, H.: Die pollenanalytische Unterscheidung von *Pinus montana*, *P. silvestris* und *P. Cembra*. Österr. Bot. Zeitschr. 78, 1929 (S. 215—28).
- Huber-Pestalozzi, G.: Die Schwebeflora der alpinen und nivalen Stufe. In: Schroeter, C.: Das Pflanzenleben der Alpen, 2. Auflage, Zürich 1926.
- Hyypä, E.: Über die spätquartäre Entwicklung Nordfinnlands mit Ergänzungen zur Kenntnis des spätglazialen Klimas. Bull. de la Comm. Géol. de Finlande 115, 1936.
- Iversen, J.: Sekundäres Pollen als Fehlerquelle. Danmarks Geologiske Undersøgelse IV, Raekka 2, 1936.
- Jaeschke, J.: Zur Frage der Artdiagnose der *Pinus silvestris*, *P. montana* und *P. Cembra* durch variationsstatistische Pollenmessungen. Beih. z. Bot. Centralbl. 52, 1935 (S. 622—33).
- Jentyś-Scafer, J.: La structure des membranes du pollen de *Corylus*, de *Myrica* et des espèces européennes de *Betula* et leur détermination à l'état fossile. Extrait Bull. Acad. Polon. des Sciences et des Lettres, Cracovie 1928 (S. 75—125).
- Keller, P.: Pollenanalytische Untersuchungen an Schweizer-Mooren und ihre florensgeschichtliche Deutung. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich 8, 1928 (163 S.).
- Pollenanalytische Untersuchungen an Mooren des Wallis. Vierteljahresschrift. Nat. Ges. Zürich 80, 1935 (S. 17—74).
- Kinzl, H.: Die größten nacheiszeitlichen Gletschervorstöße in den Schweizer Alpen und in der Mont-Blanc-Gruppe. Zeitschr. f. Gletscherkunde 20, 1932 (S. 269—397).
- Köppen, W. u. Wegener, A.: Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924 (255 S.).
- Krapowicz, W.: Studien über die Entwicklung der Prothallien und der ersten Sporophytblätter der einheimischen Farnkräuter. Extrait Bull. Acad. Polon. des Sciences et des Lettres 1927.

- Lidén, R.: Den senkvartära strandförskjutningens förlopp och kronologi i Ångermanland. Geol. Fören. i. Stockholm Förh. 60, 1938 (S. 397—404).
- Lüdi, W.: Ist unsere Bergföhre ein Bastard? Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. 1929 (S. XXIX).
- Waldgeschichte und Klimaänderungen im schweizerischen Mittellande während der jüngern Postglazialzeit. Vierteljahresschr. Nat. Ges. Zürich 80, 1935 a (S. 139—56).
 - Das Große Moos im westschweizerischen Seelande und die Geschichte seiner Entstehung. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich 11, 1935 b (344 S.).
 - Die Pollensedimentation im Davoser-Hochtale. Ber. Geobot. Inst. Rübel 1936, 1937.
 - Die Signaturen für Sedimente und Torfe. Ber. Geobot. Inst. Rübel 1938, 1939.
 - Analyse pollinique des sédiments du Lac de Genève. Mém. Soc. Phys. et Sc. Nat. Genève 41, 1939 a (S. 467—97).
 - Die Geschichte der Moore des Sihltales bei Einsiedeln. Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich 15, 1939 b (95 S.).
- Lüdi, W. u. Vareschi, V.: Die Verbreitung, das Blühen und der Pollenniederschlag der Heufieberpflanzen im Hochtale von Davos. Ber. Geobot. Inst. Rübel 1935, 1936.
- Menghin, O.: Weltgeschichte der Steinzeit. Wien 1931.
- Milankovitch, M.: Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. Handb. f. Klimatologie v. Köppen u. Geiger I, Berlin 1930.
- Minder, L.: Über biogene Entkalkung im Zürichsee. Verh. Internat. Vereinig. f. Limnologie in Kiel. Stuttgart 1923 (S. 20—32).
- Biologisch-chemische Untersuchungen im Zürichsee. Zeitschr. f. Hydrologie, Aarau 1926 (S. 1—70).
- Nilsson, E.: Pluvial lakes in East Africa. Geol. Fören. i. Stockholm Förh. 60, 1938 (S. 423—33).
- Nilsson, T.: Die pollenanalytische Zonengliederung der spät- und postglazialen Bildungen Schonens. Geol. För. i. Stockholm Förh. 57, 1935 (S. 385—562).
- Nipkow, F.: Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee. Zeitschr. f. Hydrologie, Aarau 1920 (S. 1—24).
- Über das Verhalten der Skelette planktischer Kieselalgen im geschichteten Tiefenschlamm des Zürich- und Baldeggersees. Diss. ETH Zürich, Aarau 1927.
- Oberdorfer, E.: Die postglaziale Klima- und Vegetationsgeschichte des Schluchsees (Schwarzwald). Ber. Nat. Ges. Freiburg i. Br. 31, 1931 (S. 1—85).
- Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte des Oberelsaßes und der Vogesen. Zeitschr. f. Bot. 30, 1937 (S. 513—72).
- Obermaier, H.: Diluvialchronologie. In M. Eberts Reallexikon der Vorgeschichte. Berlin 1925.
- Paul, H. u. Ruoff, S.: Pollenanalytische und stratigraphische Mooruntersuchungen im südlichen Bayern. Ber. Bayr. Bot. Ges. 19, 1927.
- Pia, J.: Die rezenten Kalksteine. Zeitschr. f. Kristallogr., Mineralogie u. Petrographie, Leipzig 1933.
- Rudolph, K.: Grundzüge der nacheiszeitlichen Waldgeschichte. Beih. Bot. Centralbl. 47, 1930 (S. 111—176).
- Rytz, W.: Pollenanalyse eines Torfmoores in der Schoßhalde bei Bern. Mitt. Naturf. Ges. Bern 1937 (S. 41—43).
- v. Sarnthein, R.: Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. II. Teil. Beih. z. Bot. Centralbl. 60, 1940 (S. 437—92).

- Sauramo, M.: The Quaternary Geology of Finland. Bull. de la Comm. Géol. de Finlande 86, Helsinki 1929 (110 S.).
- Zur spätquartären Geschichte der Ostsee. Vorläufige Mitteilung. Bull. Comm. Géol. de Finlande 104, 1934 (S. 28—83).
- Schinz, H. u. Keller, R.: Flora der Schweiz. 1. Teil. Zürich 1923.
- Schubert, E.: Zur Geschichte der Moore, Marschen und Wälder Nordwestdeutschlands. II. Mitt. d. Provinzialstelle f. Naturdenkmalpflege Hannover 1933 (148 S.).
- Szafer, W.: The Significance of Isopollen Lines for the Investigation of the Geographical Distribution of Trees in the Post-Glacial Period. Bull. Acad. Polon. Sciences et Lettres 1935 (S. 235—39).
- Trela, J.: Zur Morphologie der Pollenkörner der einheimischen Tilia-Arten. Extrait Bull. Acad. Polon. Sciences et Lettres 1928.
- Tschumi, O.: Die Ur- und Frühgeschichte des Simmentales. In: Simmentaler Heimatbuch, Bern 1938 (S. 110—154).
- Welten, M.: Die Pflanzenwelt (des Simmentals). In: Simmentaler Heimatbuch, Bern 1938 (S. 63—87).
- Zander, E.: Beiträge zur Herkunftsbestimmung bei Honig. Berlin 1935. (330 S.).