

| | |
|---------------------|--|
| 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 |
| Kapitel: | VI: Sedimentation, Zuwachs und Moorstratigraphie |
| 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>

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 oberen 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 kleineren 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 Faulenseelein 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

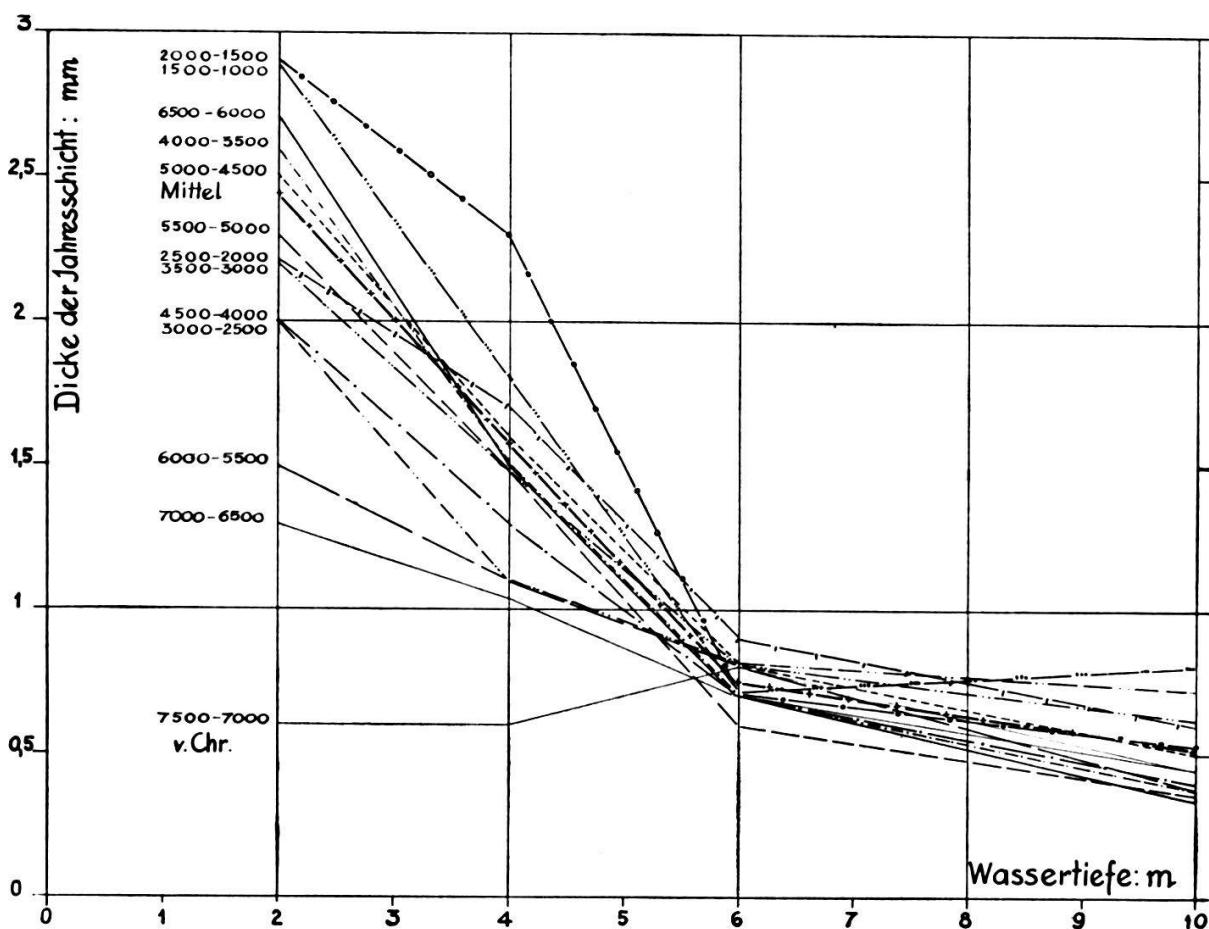


Abb. 27. Die Abhängigkeit der Jahresschichtdicke von der Wassertiefe im Faulensee zwischen 7500 und 1000 v. Chr. nach Tab. S. 161.

die Produktion organisch gefällten Kalkes, und wo anderseits der Bereich beginnt, wo infolge mangelnder Assimilation und CO₂-Reichtums des Wassers eine Wiederauflösung ausgeschiedenen und absinkenden Kalkes der Oberschicht erfolgen kann. So kommt es

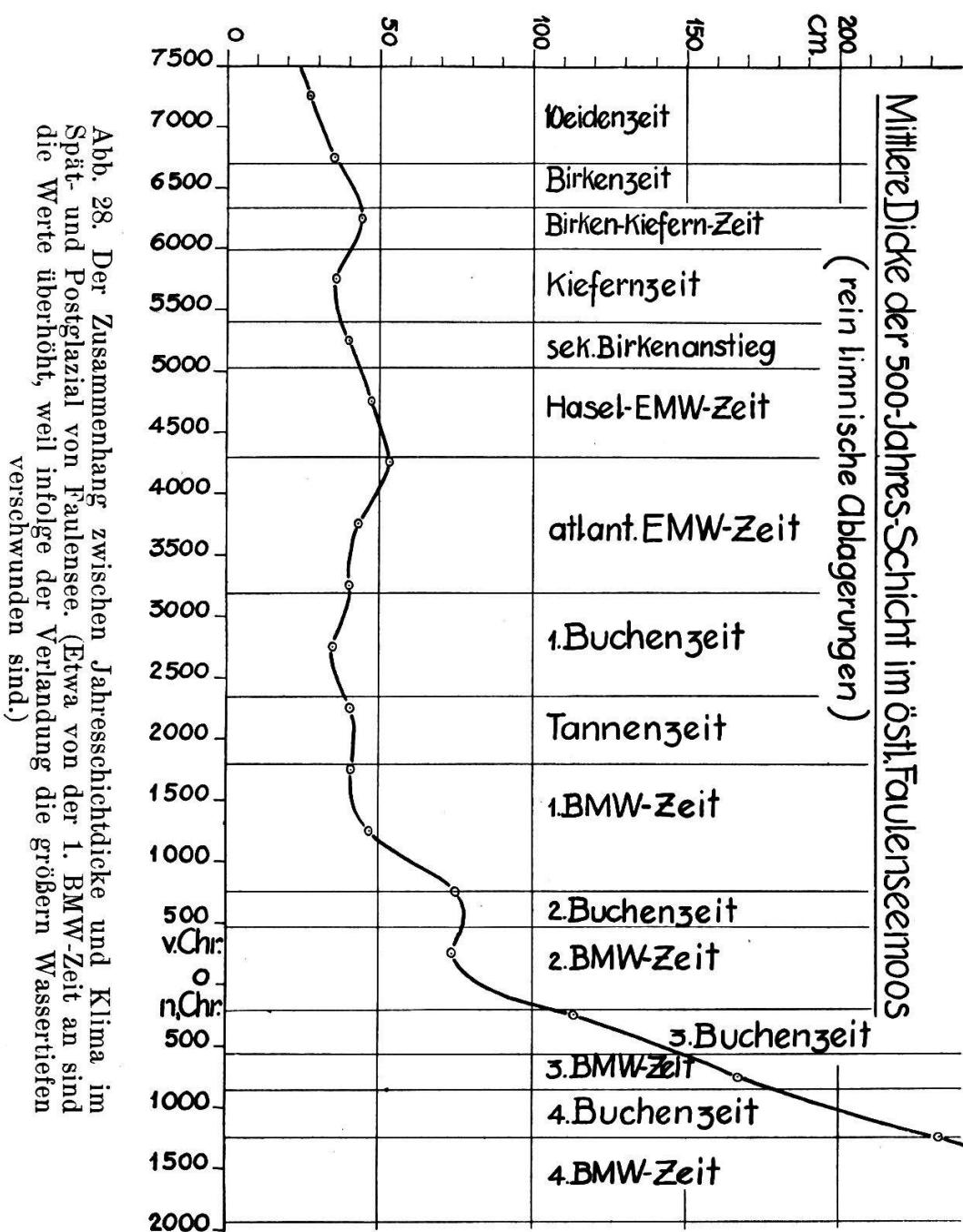


Abb. 28. Der Zusammenhang zwischen Jahreschichtdicke und Klima im Spät- und Postglazial von Faulensee. (Etwa von der 1. BMW-Zeit an sind die Werte überhöht, weil infolge der Verlandung die größeren Wassertiefen verschwunden sind.)

in Tiefen unter 6 m zu sehr stark reduzierten und ± 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 Härr i (1940, S. 20) Zuwachswerte von 1 mm oder etwas weniger und trifft so die Größenordnung des mittlern Zuwachsese 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 Zuwachsese mit geringerer Wassertiefe auch im Wauwilermoos besteht. Durch Schätzung der Schichtdicke an verschiedenen Proben aus dem geschichteten Sediment des Genfersees ist Lüdi (1939a, S. 490) zu einem Mittelwert von ca. 1 bis 2 mm gelangt, also einem Wert derselben Größenordnung. Fribas (1935) ist auf Grund einer sehr weiträumigen Auffassung des Spätglazials (wo nach 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 kühle 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

LÄNGSPROFIL DURCH DAS FAULENSEEMOOS

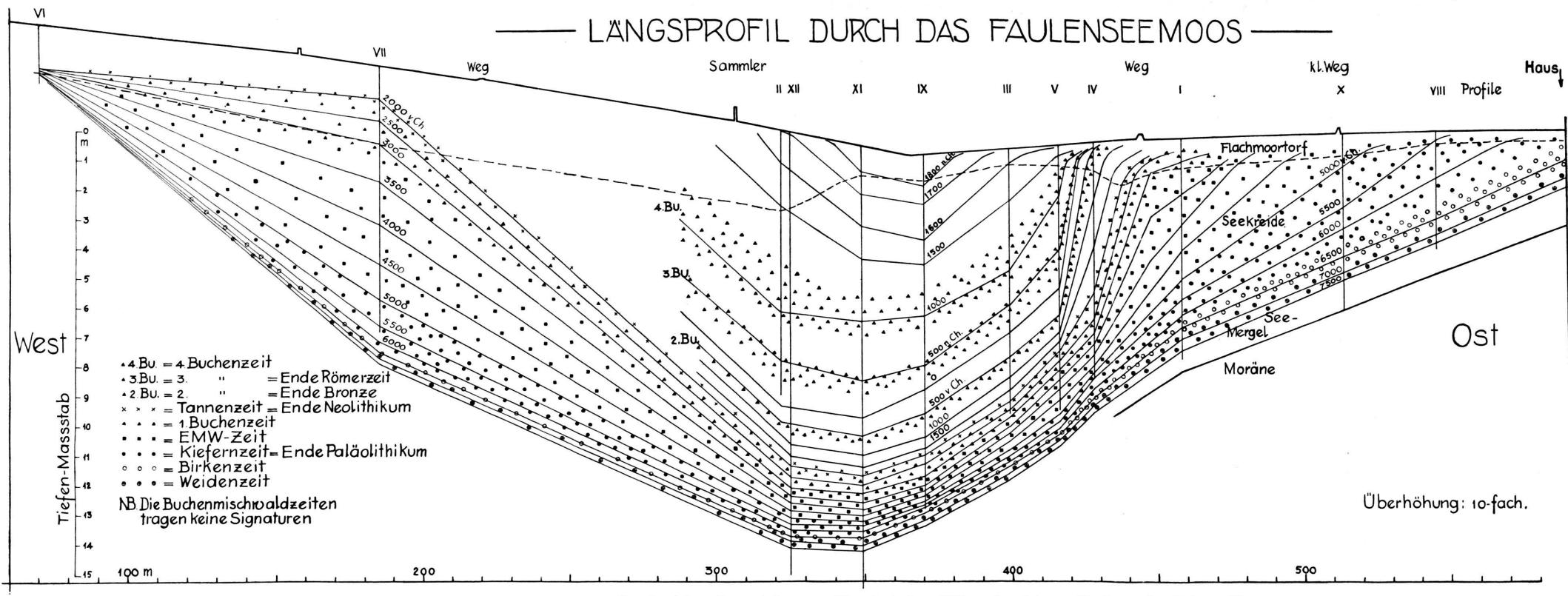


Abb. 26. Längsprofil des Faulenseemooses. Fünfhundertjahres-Zuwachscurven. Die römischen Ziffern bezeichnen die Lage der Bohrprofile

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. Anderseits 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 durchgangen. 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 Übergangerscheinung 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 röhrt von Kompensationsvorgängen her: steigt die Einschwemmung an, so sinkt die Ablagerung von durch Organismentätigkeit 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. Büren, 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 kleinern 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 verminderter 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. F ir b a s , 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 (F ir b a s , 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, Stillstandsfachmoortorf 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 Lüdis (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 Härry (1940) am Wauwilermoos gelungen ist.

Zahlreiche der älteren Untersuchungen im Lande herum, so z. B. diejenigen P. Kellers (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

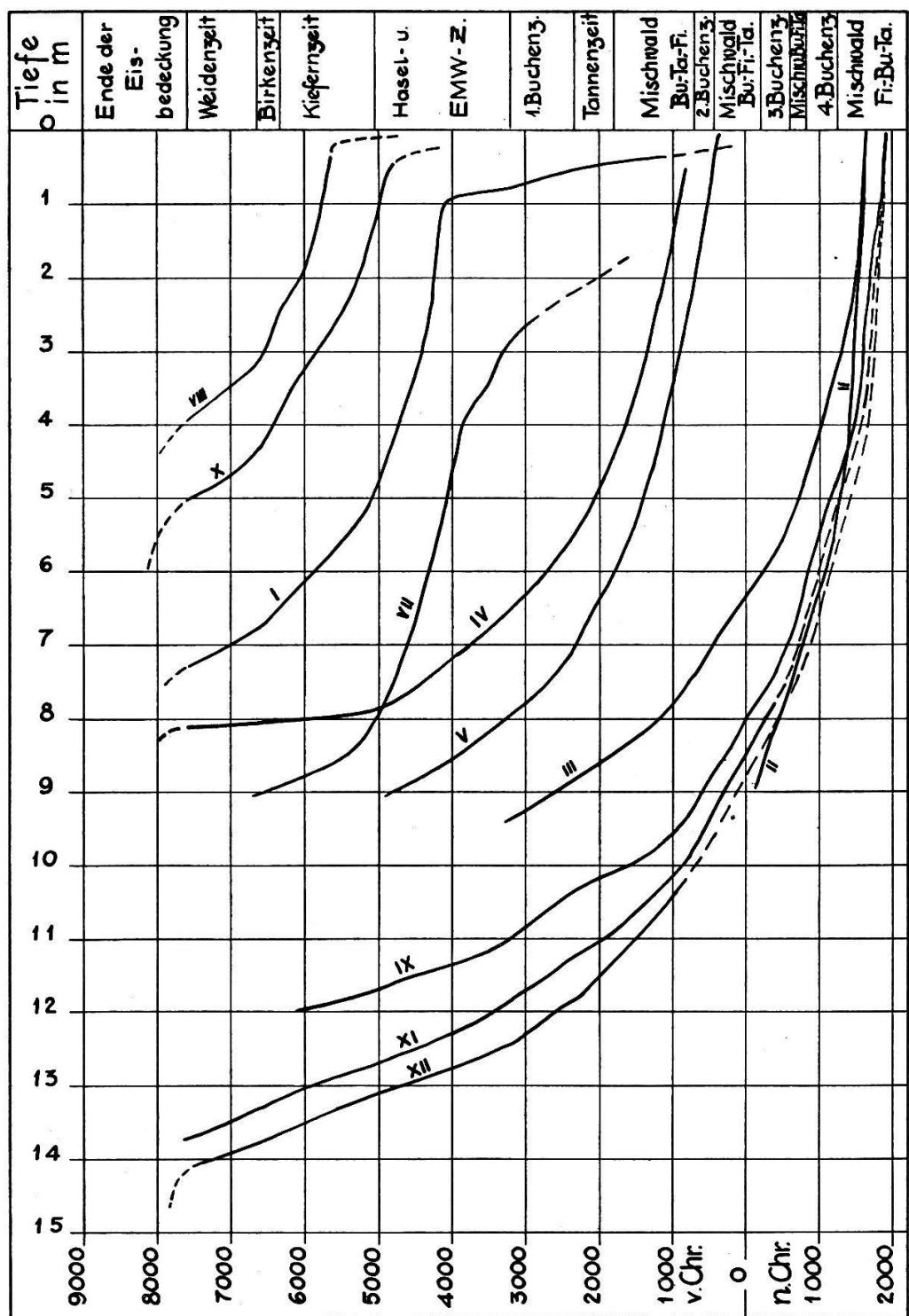


Abb. 29. Die Zuwachskurven für das limnische Sediment in Faulensee in Abhängigkeit von der Wassertiefe sind seit der Eisbedeckung (seit fast 10 000 Jahren!) in ihrer Gesetzmäßigkeit konstant geblieben; eine starke Stütze für die dargelegte Chronologie.

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 obren 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 Sedimentzyylinder 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:

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

worin d die Jahresschichtdicke in Millimeter bezeichnet und p die in diesen $31,8 \text{ mm}^3$ 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 Fünfzigschichtenmittel 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-Lappland 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 Stück/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 Seemitte Windandrift 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 F ir b a s) 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). Ebenso wenig 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 unsren 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 Lüdi und Vareschi (1936, und Lüdi, 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 Aario (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 A a r i o 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 Baum-pollen 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 späteren 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 Aarao 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 Kieferneinschlag 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 Kieferausbreitung 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 unsrern 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 lappändische 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 Schneegrenzendepressionsen 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 unsren 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 emporschneilen, 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 größern 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 cm^2 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 Firbas (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 Rudolphs (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 weitern 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 ($16,6 \text{ km}^2$), 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 Brusthöhdurchmesser 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 Pollenspender 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 röhren, 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 beigelegt. 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 cm^2 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 Maßstab-verschiedenheit!) 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 weitern 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 anzeigen 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 Massenvegetation (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 substrahierte den so zum Ton geschlagenen Kalk vom Kalkprozent jeder Probe.

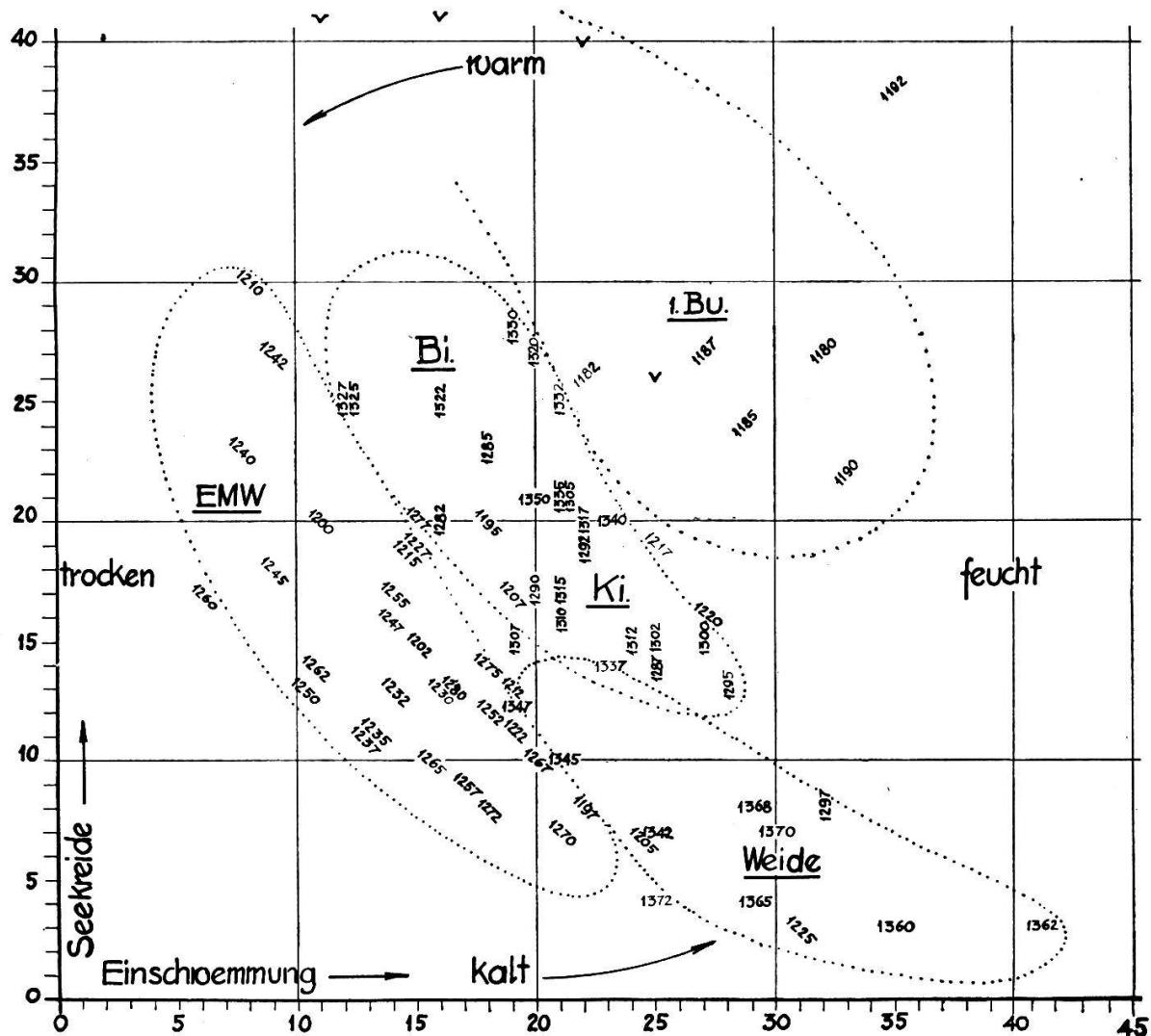
Das so erhaltene Kurvenbild sei anhand des umfassenderen Profils XI (Abb. 15) diskutiert. Da zahlreiche Einzelheiten nicht nur von beschränktem Interesse, sondern wahrscheinlich auch noch mit einer bestimmten Unsicherheit behaftet sind, seien nur die großen Züge betont.

- 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-



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 Hauptstreuungssachse 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 Faulenseeleins 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 Wasser durchfluß 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 Streudiagramm 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 Tonstreifchen!), 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 weiteren 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 ozeanischeren und kontinentaleren 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 oberen 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 kontinentaleren, die Teile links oben als die ozeanischeren bezeichnen zu können. Bei gegebenen Niederschlagsmengen ist nämlich die kontinentale Massierung der Niederschläge wohl dasjenige, was die Wasservegetation schädigt. Wir verzichteten 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 unsrern 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 (Tannenzeit) | warm (mittel) | feucht (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 späteren 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 Wärmedorothy, 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 Lüdis (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.