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: V: Geochronologische Untersuchungen

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: 13.07.2025

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

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 Seekreidestreifchen fein, schmal, jedoch in ziemlich regelmäßigen Abständen in einer graubraunen Gyttjamasse 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 Gyttja 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.

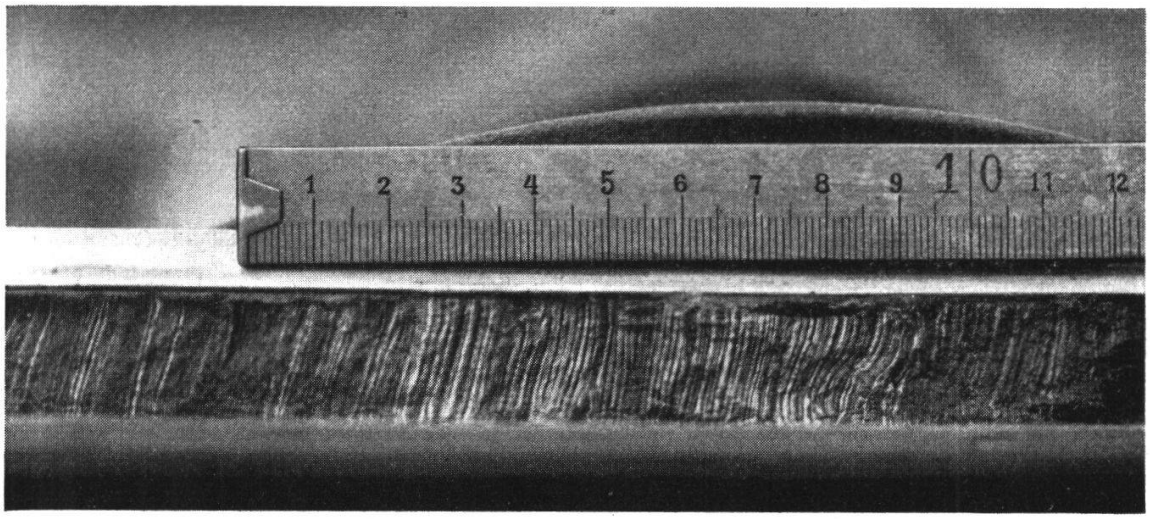

Abb. 19. Jahresschichtung im Faulenseemoos aus Profil XI, links 1068,9 cm Tiefe, rechts 1084,6 cm Tiefe, im schwed. Kammerbohrer. In diesem Abschnitt sind laut Protokoll 206 Jahresschichten gezählt worden (phot. M. Welten).

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

Die Möglichkeit der Bildung einer solchen Repetitionsschichtung ist früh erörtert worden. So schrieb Wesenberg-Lund (1902, cit. nach Nipkow, 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 Nipkow (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. Nipkow 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 Wintersediment dar, die hellen bestehen aus Kalzitkriställchen und stellen das Sommersediment dar; Mikroanalysen aus einzelnen Teilen einer Jahresschichtung 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 Jahresschichten 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 frühsommerlichen 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 Jahresschichtdicke 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 Minders 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 Lünersee; 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. Lüdi 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 Lüdi (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.

Härri (1940, S. 15) konnte im blaugrauen Mergel des Wauwilermooses 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 Geers 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 Sauramo Matti (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 de Geer 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.

Deecke (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 Untersuchungsresultate 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-

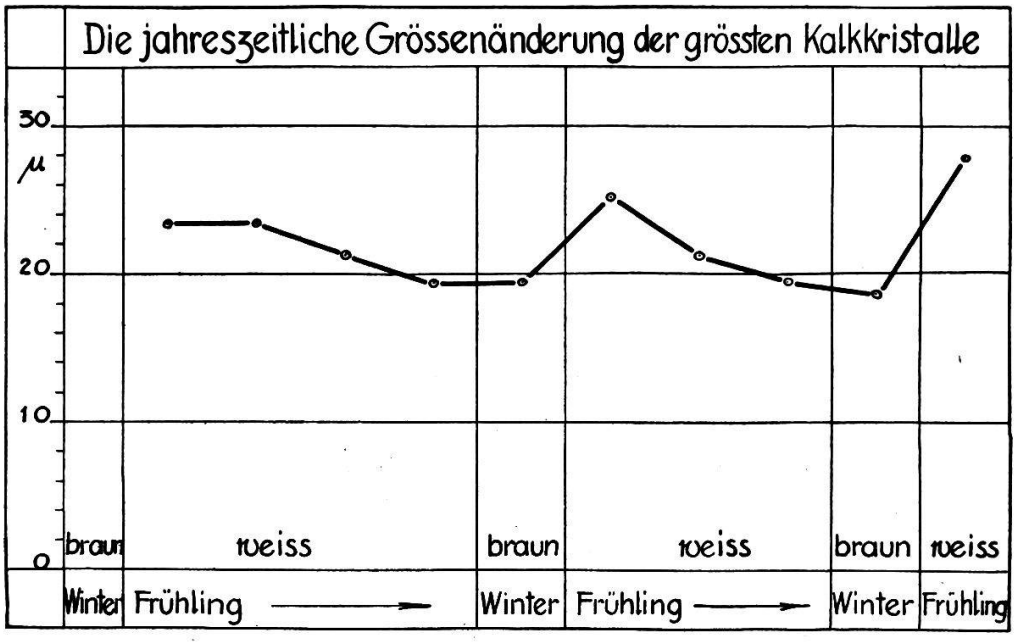

Abb. 20. Granulometrischer Nachweis der Jahresschichtung.

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 Vareschi (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

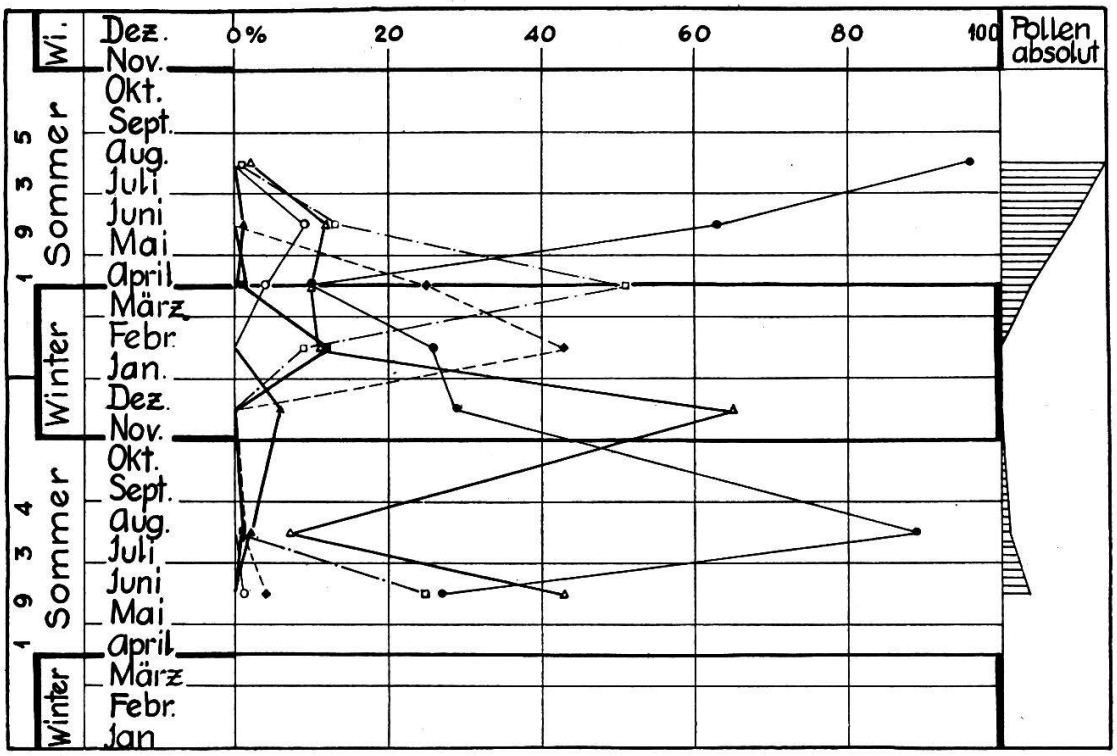

Abb. 21. Der jährliche Pollenniederschlag in Davos 1934/35 nach den Zahlenangaben W. Lüdis (1937) in der üblichen Form eines Pollendiagramms für 2-Monatsperioden dargestellt.

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 $^3/_4$ 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 obern 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

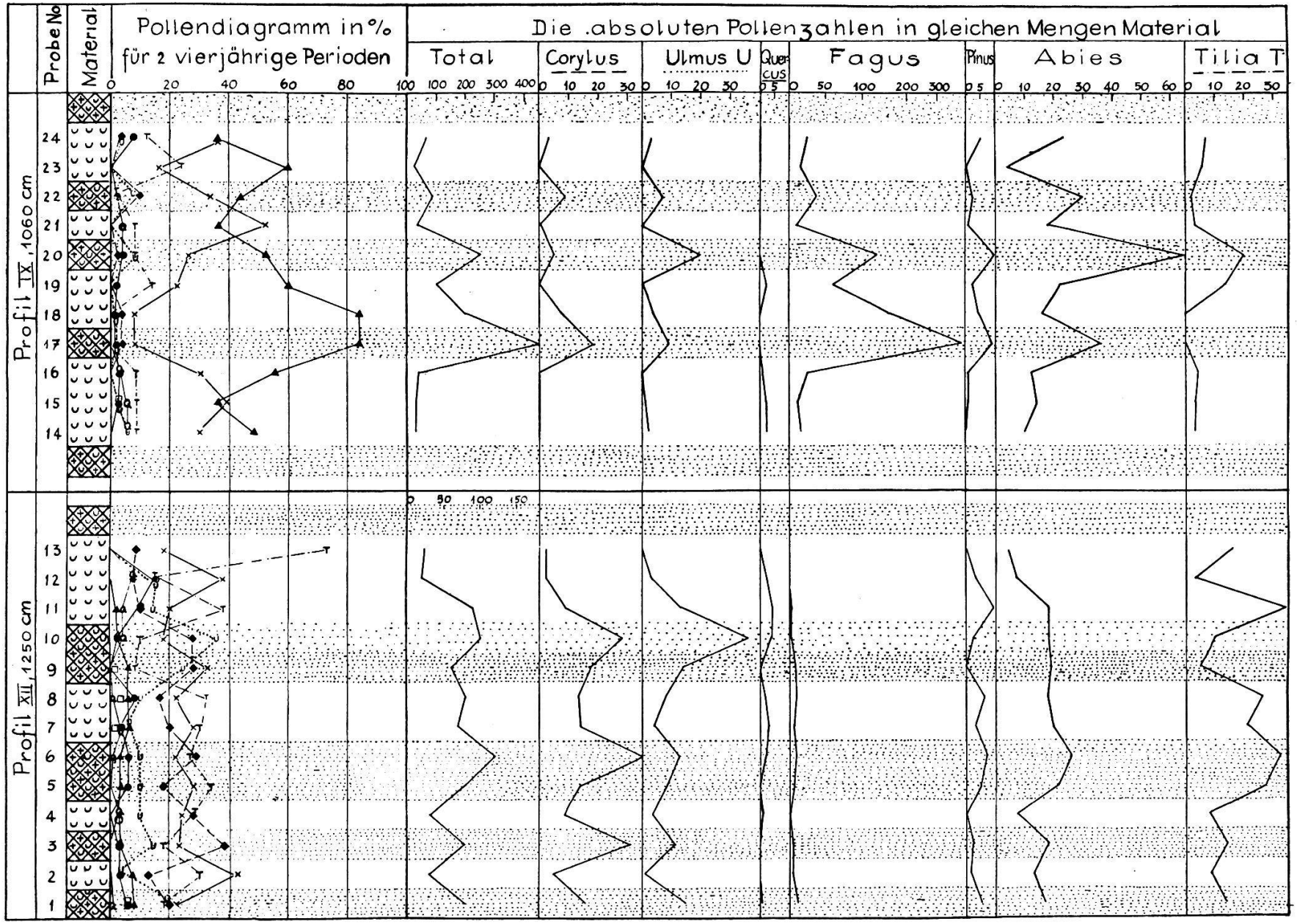

Abb. 22. Paläontologischer Nachweis der Jahresschichtung. Weiß: weißer Schichtteil, Sommer. Punktiert: brauner Schichtteil, Herbst, Winter, frühes Frühjahr. Die Zählergebnisse sind in der üblichen Form eines relativen Pollendiagramms aufgezeichnet.

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			
	braun Stk.	weiß Stk.	Stk.	braun %	weiß %	
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; anderseits erscheint aber in den Untersuchungen Lüdis (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 frühsommerlichen Planktonmaximum rezenter Untersuchungen und stellt einen Teil jener Ursachen dar, die die periodisch wiederkehrende Kalkausscheidung bedingen.

Die vorstehende Tabelle erlaubt noch einen weitern 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 $^1/_8$—$^1/_6$ 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 größern 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 mit 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 größern 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 bändertonartige 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 Zähltabelle 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 obern Ende jeder 50 cm-Kanne, da beim Entnehmen der obern Kanne die Bohrerspitze 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 Zähltabelle 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 Biozönosen 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 Zähllücken 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 $^1/_5$ 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 Warwenzählungen 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

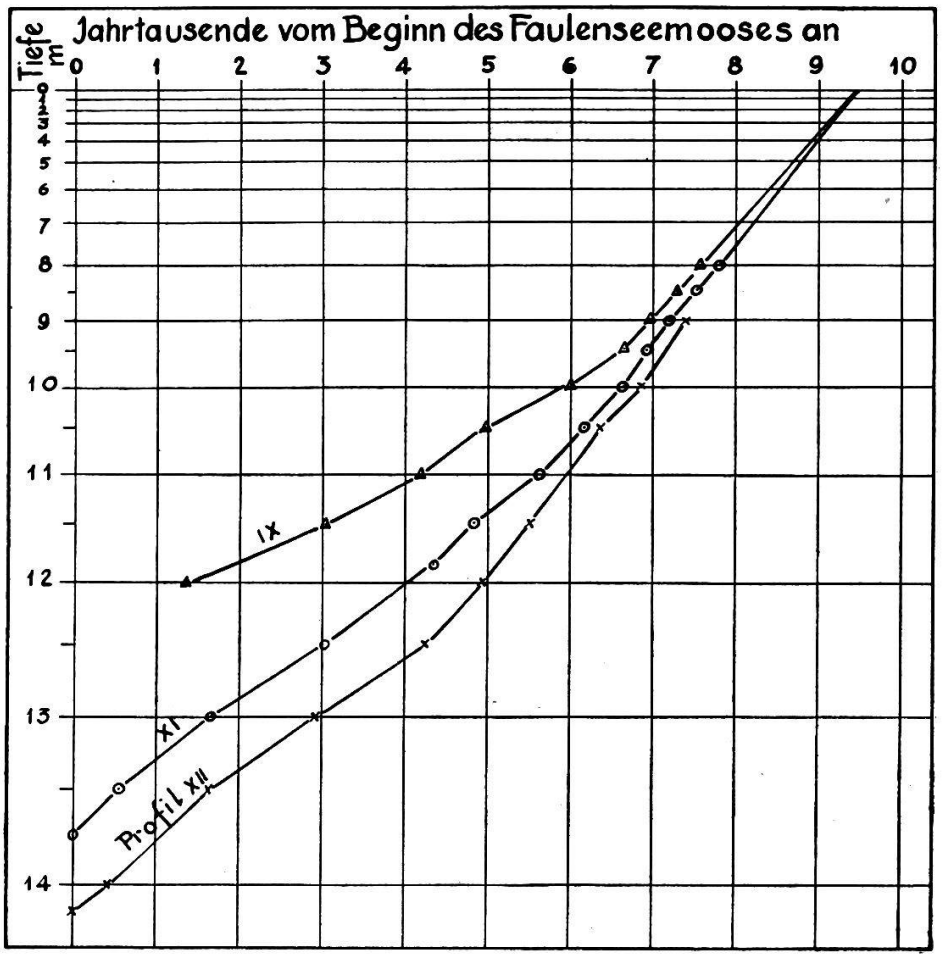

Abb. 23. Anschluß der Jahresschichtzählungen an die christliche Zeitrechnung: Extrapolation der Zuwachskurve dreier Profile auf die Jetztzeit.

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-

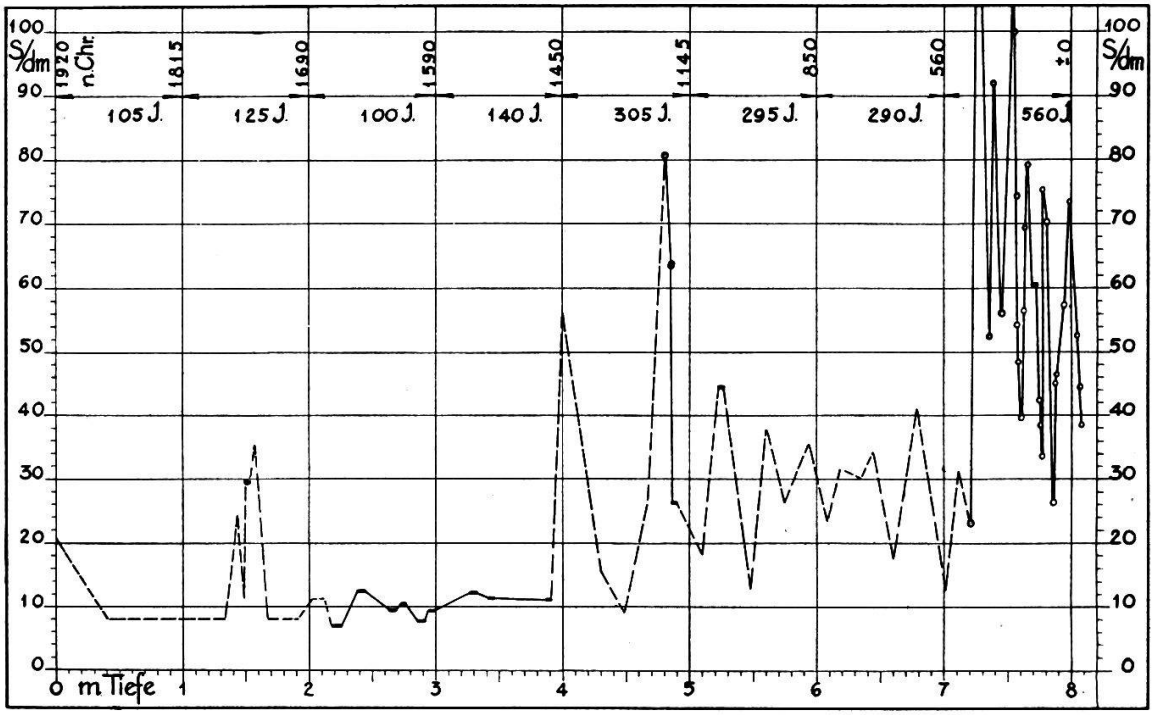

Abb. 24. Anschluß der Jahresschichtzählungen an die christliche Zeitrechnung: die Auswertung der spärlichen Schichtzählungen im nachchristlichen Zeitabschnitt (in Profil IX, 0—8 m Tiefe). Die Kurve stellt die Schichtzahl pro dm Sedimenthöhe dar. Dicke Striche und Kreise: Meßergebnisse. Zusammenhängende 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 Faulenseeleins an und stellen einen Versuch einer lokalen Zeitskala ähnlich derjenigen de Geers in Schweden oder Sauramos in Finnland dar.

Tabelle über die Jahresschichtenzählungen im Profil XII.

(aufgenommen am 5. und 9. November 1940)

A		B	C	D	E	F	G	H
Waldgeschichtl. Zeit		Jahrzahl Chr. Geb. = 0	Messungen Tiefe cm	Unterschied mm	Teilzählung Schichten	ohne Unterbruch gezählte Schichten	interpolierte Schichten	fortlaufende Summe der Schichten
Weidenzeit	1. Ab.		1431					
			1430	10	6			
	2. Abschn.	7550	1414,3					0
		7520	1413,4	9	30			30
		7470	1412	14	50			80
		7420	1410,1	19	50			130
		7370	1408,2	19	50			180
		7320	1406,4	18	50			230
		7270	1404,1	23	50			280
		7220	1402,5	16	50	330		330
		7145	1400	25			75	405
		7120	1399,1	9	25			430
	3. Abschn.	7070	1397,2	19	50			480
		7020	1395,2	20	50			530
		6970	1393,1	21	50			580
		6920	1391,5	16	50			630
		6870	1389,8	17	50			680
		6820	1388,2	16	50			730
		6770	1386,5	17	50			780
		6720	1384,2	23	50			830
Hippophaë		6670	1382,2	20	50			880
		6620	1380,3	19	50			930
		6570	1378	23	50			980
Birkenzeit		6520	1375,5	25	50			1030
		6470	1373,5	20	50			1080
		6420	1371,6	19	50			1130
		6370	1369,4	22	50			1180
		6320	1366,9	25	50			1230
		6270	1364,6	23	50			1280
Kiefernzeit		6220	1362,3	23	50			1330
		6170	1359,8	25	50			1380
		6120	1357,7	21	50			1430
		6070	1355,6	21	50			1480
		6020	1353,7	19	50			1530
		5970	1351,5	22	50	1175		1580
		5930	1350	15			40	1620
		5880	1348,4	16	50			1670
		5830	1346,5	19	50			1720
		5780	1344,1	24	50			1770
		5730	1341,8	23	50			1820
		5680	1339,6	22	50			1870
		5630	1337,3	23	50			1920
		5580	1335,1	22	50			1970

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
Eichen-Mischwald-Zeit	5080	1315	17	50			2470
	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
1. Buchenzeit	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

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
Kiefernzeit Bi. Hipp. Weidenzeit 1. Ab. 2. Abschnitt 3. Ab.			1. Teil: Spätglazial.				
		1374,2					
		1372,2	(20)	(12)			*0*
		1369,4	28			*40*	*40*
		1368,6	8	11			*51*
		1366,6	20			*35*	*86*
		1365,7	9	20			*106*
		1364,3	14			*25*	*131*
		1363,1	12	15			*146*
		1358,4	47			*105*	*251*
		1357,6	8	25			*276*
		1355,1	25			*70*	*346*
		1354,5	6	14			*360*
		1341,2	133			*265*	*625*
		1340	12	20			*645*
		1336,1	39			*60*	*705*
		1334,8	13	20			*725*
		1334,3	5			*10*	*735*
		1333	13	20			*755*
		1327,3	57			*100*	*855*
		1324,7	26	50			*905*
		1314,1	106			*205*	*1110*
		1311,5	26	50			*1160*
		1311	5			*10*	*1170*
		1308,8	22	50			*1220*
		1295,4	134			*320*	*1540*
		1293,8	16	40			*1580*
		1285,5	83			*240*	*1820*
		1284,2	13	42			*1862*
		1277,2	70			*160*	*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
			3. Teil: Vom Ende der EMW-Zeit an.				
							4350
1. Buchenzeit	3190	1187,2	8	10			4360
	3140	1183,3	39	50			4410
	3090	1180	33	50			4460
	3040	1176,6	34	50			4510
	2990	1172,9	37	50			4560
	2940	1168,1	48	50			4610
	2890	1163,4	47	50			4660
	2840	1159,4	40	50			4710
	2790	1154,6	48	50			4760
	2740	1151	36	50	460		4810
	2725	1150	10			15	4825
	2685	1147,1	29	40			4865
	2635	1143	41	50			4915
	2585	1140,2	28	50			4965
	2535	1136,2	40	50			5015
	2485	1131,6	46	50			5065
	2435	1128,2	34	50			5115
	2385	1125,5	27	50			5165
	2335	1122,7	28	50			5215
Tannenzeit	2285	1120	27	50			5265
	2235	1117,3	27	50			5315
	2185	1114,2	31	50			5365
	2135	1111,2	30	50	590		5415
	1935	1100	112			*200*	5615
	1905	1098,6	14	30			5645
	1855	1094,9	37	50			5695
	1805	1092,1	28	50			5745
Mischwald Bu-Ta-Fi	1755	1088,4	37	50			5795
	1705	1085,3	31	50			5845
	1655	1081,3	40	50			5895
	1605	1077,8	35	50			5945
	1555	1071,7	61	50			5995
	1505	1065	67	50			6045
	1455	1059,5	55	50	480		6095
	1415	1054,8	47			*40*	6135
	1385	1051,4	34	30	30		6165
	1370	1049,8	16			15	6180
	1330	1045,5	43	40			6220
	1280	1040,3	52	50			6270
	1230	1034,5	58	50			6320
	1180	1029	55	50			6370
	1130	1024,7	43	50			6420
	1080	1019,7	50	50	290		6470
	1070	1018,7	10			*10*	6480
	1010	1012,4	63	60	60		6540
	975	1008	44			*35*	6575
	945	1003,8	42	30	30		6605
	915	999,5	43			30	6635
	895	996,6	29	20	20		6655
	890	995,5	11			*5*	6660
	870	992,2	33	20	20		6680
	850	989,3	29			*20*	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
Mischwald Bu-Fi-Ta	390	903,2	90	60	60		7160
	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
3. Buchen-Z.	295	794,8	182			*150?*	7845
	307	793,5	13	12	12		7857
	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
Nachchristl. Abschn.		507	2740			?	
		505,1	19	12	12		
		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	1372,2				
Spätglazial	1275,7	965	397	*1645*	2042
2. Teil	1275,7				
EMW	1188	877	415	*1040*	1455
3. Teil					
1. Bu. inkl.	1188				
3. Bu. exkl.	813	3750	2554	*791*	3345
			76 %	24 %	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. Teil: 1. Buchenzeit				
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	8			
4. Bu. Z.		525,5 525	5	2			
		489,1 485	41	11			
letzte Buchen-Misch-wald-Z.		388,7 386	27	3			
		266,4 261	54	5			
		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 Buchen-Misch-wald-Z.	1590	300	1000			139	9140
	1689	200	1000			99	9239
	1814	100	1000			125	9364
	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 Zählabteilungen 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 Faulenseegegend 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 Durchschnitterechnen 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	
1250					1291
850	4. Buchenzeit			Burgunder	
	3. Bu. Mischw. Z.: Bu-Fi-Ta		1000 n. Chr.	Franken Burgunder	741
600					413
	3. Buchenzeit			Römer	
200	2. Buchenmischwaldzeit: Bu-Fi-Ta		0 v. Chr.		50
450				La Tène-Zeit	500
	2. Buchenzeit			Hallstatt-Zeit	
750					800
	1. Buchenmischwaldzeit: Bu-Ta Fi		1000	Bronzezeit	
1800					1900
	Tannenzeit		2000	jüngeres Neolithikum (Pfahlbauten etc.)	
2350					
	1. Buchenzeit		3000		3000
3200				älteres Neolithikum	
	EMW	Eichen-mischwald	4000		
4300				Spätcamp.?	
4750	EMW + Ha.	Hasel-Zeit		Mesolithikum	
	Ha. + EMW			Spättard.?	
5050			5000		5000
	sek. Bi. Anstieg			Jung- Frühtard.? Azilien?	
5400	Kiefer	Kiefern-Zeit			
6000			6000		
	Bi. + Ki.				
6350	Birkenzeit			paläo-	
6630					
6750	Hippophaë				
7150	3. Abschn.	Weiden-Zeit	7000		
	2. Abschn.			lithikum	
7550				Magdalenien	
	1. Abschn. Gletscherrückzug		8000		

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 eindrücklich 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 Lüdi (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 Köppen und Wegener (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 Trokkenzeit 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. Gams und Nordhagen (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 gewesen sein	Zeit mit starken Einschwemmungen, 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 erhöhter 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

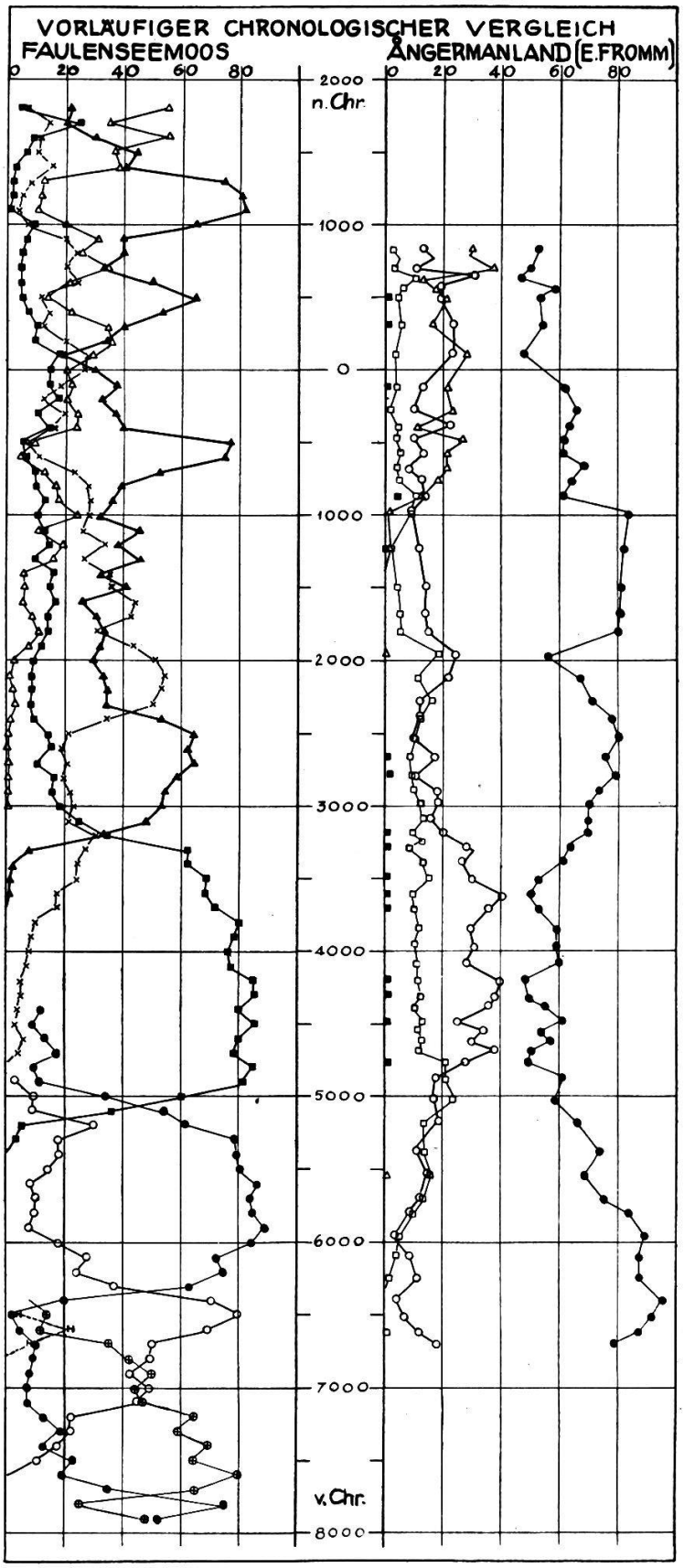

Abb. 25. Vorläufiger pollenanalytisch-chronologischer Vergleich Mitteleuropa-Nordeuropa. Verschiedene kleine Einzelheiten sind weggelassen.

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 weitern 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 Rudolphs (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 wärmern 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 Groß (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 Beginn der Wärmezeit um 5000, evtl. 5400 v. Chr. scheint mir deshalb genügend gesichert.

Damit ist aber auch das Ende des Spätglazials (im Sinne von Firbas, 1935) bestimmt. Es sei aber entgegen der Ansicht von Firbas festgestellt, daß auch im Norden die Ausbreitung einer mehr Wärme erfordernden Vegetation nicht schon zur Zeit des Eisrückzugs von den fennoskandischen Endmoränen erfolgt (um ca. 8000 v. Chr.), sondern viel später. (Vgl. z. B. Hyyppä, 1936; Fromm, 1938.)

Für eine starke Verkürzung der frühen postglazialen und der spätglazialen Abschnitte spricht sich vom Standpunkt des Prähistorikers aus auch Menghin (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 Obermaiers (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 eindrücklichsten vielleicht von Oberdorfer (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 (Lidén, 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 Telekonnektionen 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, 1939a; Härri, 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 Becks (1938), die einen Versuch darstellen, die Glazialphänomene in die astrophysikalischen Berechnungen und Ergebnisse von Milankovitsch (1930) einzufügen. Da sich die heutigen Ansichten über die Dauer der Vergletscherungserscheinungen sehr stark (z. T. fast ausschließlich) auf die Zahlen von Milankovitsch 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 Quartärerscheinungen 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 kühlern 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 Milankovitsch 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 kühlern 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 Milankovitsch 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.

Milankovitsch 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 anderseits 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° und die Wintertemperatur (Oktober/März) +1,9°, 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-Vorstoßes 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 Milankovitsch wenigstens so wirksam waren, daß sie die aus andern Ursachen entstandenen Vereisungsklimate so stark modifizierten, daß periodische und nach Milankovitsch 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 Milankovitsch-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 Milankovitsch-Jahr 10 000 (8200 v. Chr.) ergeben sich z. B. folgende solare Temperaturänderungen (unter Berücksichtigung von Milankovitsch, 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 Milankovitsch (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 Milankovitsch-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 Milankovitsch 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 Härri (1940) aus dem Wauwilermoos weist am Anfang der Birkenzeit ebenfalls jenen typischen Sprung von tonreichen, pollenarmen zu kalkreichen, pollenreichen Sedimenten auf (Härri, 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 Härris als Ungeheuerlichkeit bezeichnet werden muß. Härri (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 ältern 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 Hyyppä (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. Zeitrechnung	Pollenanalytische und geochronologische Ergebnisse Faulensee		Glazialgeologische Erscheinungen in den Alpen	Geologische und geochronologische Ergebnisse in Nordeuropa
5000 v. Chr.				Litorina
	sek. Bi. Anstieg	Kiefernzeit		
				— — — ? —
	Kiefer		Schluss- Daun? vereisung Gschnitz?	Ancylus-
6000				See
	Bi + Ki			
	Birkenzeit			
	Hipp.	Weidenzeit		— Bipartition
	3. Abschnitt			Yoldia-
7000				Finiglazial
	2. Abschnitt			Meer
	1. Abschnitt			
	Gletscherrückzug		Thun	— Salpausselkä III
8000			Jaberg	— Salpausselkä II
				Baltischer
			Muri?	— Salpausselkä I
				Eissee
9000				