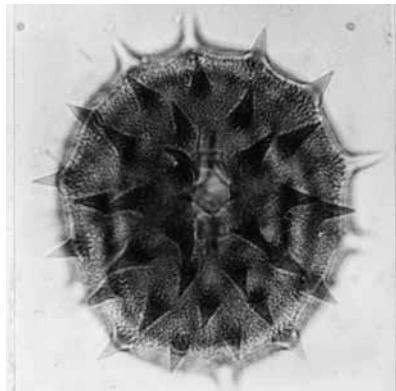
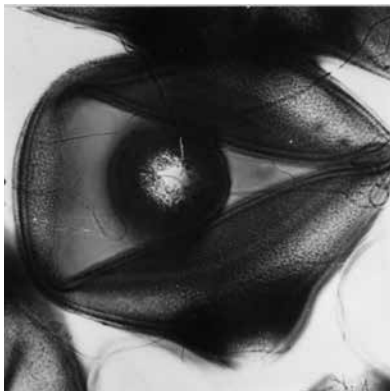


Das Faulenseemoos – ein einzigartiges Klima-Archiv

Inhalt

1 Die Moosallmend	44
1.1 Die Bedeutung der Moosallmend	44
1.2 Schutz der Restfläche	44
2 Aus der Geschichte der Moosallmend	45
2.1 Von der Entdeckung der Pollenkörner zur Pollenanalyse	46
2.2 Notizen zur Erforschungsgeschichte der Moosallmend	52
Erste Arbeit	52
Zweite Arbeit	60
Dritte Arbeit	61
Vierte Arbeit	63
2.3 Internationales Paläolimnologen-Symposium mit Exkursion ins Faulenseemoos 1997	70
2.4 Neuere Trends: Molekulargenetische Methoden – DNA-Analyse	72
3 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	73
Nachtrag	73



Einleitung

Das 5,2 Hektaren grosse Faulenseemoos ist in den 15000 Jahren seit der Schlussphase der letzten Eiszeit entstanden. Dabei hat der sauerstoffarme Moorboden, der sich bei der Verlandung eines nacheiszeitlichen Gewässers bildete, Blütenstaub und anderes organisches Material fortlaufend «archiviert» und bis heute konserviert. Seit den 1940er Jahren nutzen Forscher aus ganz Europa dieses Archiv, um insbesondere mit Hilfe der Pollenanalyse die Klimageschichte der letzten 15000 Jahre zu rekonstruieren. An den Blütenstaubkörnern lesen sie ab, welche Baum- und anderen Pflanzenarten zu unterschiedlichen Zeiten in der Thunersee-Region dominierten, was wiederum Rückschlüsse auf Klimaveränderungen und ihre Folgen für die Vegetation erlaubt – oder auch auf kulturgeschichtliche Fragen, etwa, wann der Ackerbau in der Region begann und wie er durch die Klimaveränderungen beeinflusst wurde.

Erleichtert wird dieses «Lesen im Klima-Archiv» durch die über weite Strecken ungestörte jahreszeitliche Schichtung der Ablagerungen: Die hellen Sommer- und dunklen Winterschichten erlauben es, an Bohrkernen das Wachstum des Bodens abzulesen wie an den Jahrringen eines Baums – und das an manchen Stellen über mehrere tausend Jahre. Der Berner Biologe Max Welten fand durch Pollenanalysen am Faulenseemoos heraus, dass in den dunklen Schichten massenhaft Pollen von Haseln lag, die Ende Winter blühen, während in den hellen Schichten Pollen von Sommer-Blüheren eingelagert ist. Dadurch war der Nachweis erbracht, dass die Abfolge von hellen und dunklen Sedimentschichten im Faulenseemoos tatsächlich dem Wechsel der Jahreszeiten entspricht und deshalb für die Datierung taugt. Auf dieser Grundlage gelang es Max Welten vor 70 Jahren als erstem Forscher weltweit, mit seiner Methode den jährlichen Polleneintrag (Polleninflux) am Faulenseemoos zu bestimmen. Nicht nur aus diesem wissenschaftshistorischen Grund ist das Faulenseemoos von unschätzbarem Wert. So kennt man weltweit auch heute nur wenige solche Fenster zur Erdgeschichte (Geotope), in denen Informationen über Klimaveränderungen über so lange Zeiträume so ordentlich gelagert sind – und vor allem auch Informationen darüber, wie schnell und in welcher Weise die Vegetation, die Lebensgrundlage von Mensch und Tier, auf diese Veränderungen reagierte.

Nach jahrzehntelanger intensiver Bewirtschaftung und reger Bautätigkeit ist heute allerdings nur ein kleiner Rest des Faulenseemooses wirklich noch als Moor erhalten. Um das Geotop von europaweiter Bedeutung vor weiterer



Direkt an der Strasse von Spiez nach Faulensee, zwischen Materiallagern, Gewerbebauten und Weideland, liegt ein Schatz: Der letzte Rest des Geoarchivs Faulenseemoos. (Foto: UTB)

Zerstörung zu bewahren, hat die Gemeinde Spiez mit der Ortsplanungsrevision von 2013 eine Kern- und Pufferzone des Restmoors unter Schutz gestellt. Der folgende Beitrag berichtet von der Erforschung des Geotops in den letzten sieben Jahren und erläutert an diesem Stück Wissenschaftsgeschichte die Gründe für den Schutz der Moosallmend Faulensee.

1.1 Die Bedeutung der Moosallmend

Für die Moosallmend ist die zwischen 40 cm und knapp 3 m mächtige Torfauflage aus den folgenden zwei Gründen standörtlich von besonderer Bedeutung: erstens als – potentieller¹ – Wuchsort von geschützten, zum Teil stark gefährdeten Nasswiesen- und Moorgesellschaften, zweitens als konservierendes Substrat.

Zur Bedeutung als konservierendes Substrat: Torfe entstehen auf wassergesättigten Böden – das heisst, unter anaeroben (Sauerstoff-freien), reduzierenden Bedingungen – durch unvollständige Zersetzung der jährlich anfallenden Biomasse.² Die in Torfen eingelagerten organischen und anorganischen Reste (pflanzliche, tierische, chemische) bleiben, ähnlich wie in Seen, dank der guten konservierenden Eigenschaften des Substrats beim Ausbleiben von gewaltsamen Störungen über Jahrtausende hinweg weitgehend erhalten. Mit andern Worten, Torfe bergen unverzichtbare historische Informationen zu Klima, Vegetation, anthropogener Besiedlung etc.; es ist deshalb sachlich gerechtfertigt, sie als Archive von hohem wissenschaftlichem Wert zu bezeichnen – auf die wissenschaftliche Bedeutung insbesondere der Pollenanalyse geht diese Arbeit ein.

1.2 Schutz der Restfläche

Werden Torfböden zur Verbesserung der landwirtschaftlichen Nutzung entwässert, wie dies gemäss Welten (1944) in der Moosallmend bereits zwischen 1918 bis 1920 geschah³, setzen Abbauprozesse ein, die den Torfkörper nach-

¹ Auf der rund 5.2 ha grossen Torffläche der Moosallmend kommen heute gerade noch auf 20 a (= 3.8 %) Nasswiesen- und Moorgesellschaften vor.

² Ein in der Stoffbilanz verschwindend kleiner Anteil besteht aus abgesetzten Aerosolen (Schwebstoffen), die durch Winde transportiert und eingeweht wurden. Eine Komponente dieser Aerosole, Pollen (Blütenstaubkörner), ist von besonderem Interesse: Pollen von zoogamen Pflanzen (Bestäubung durch Tiere) bildet vorwiegend die lokale, Pollen von anemogamen Pflanzen (Bestäubung durch Wind) insbesondere die regionale Vegetation ab, falls er an seiner Lagerstätte nicht abgebaut wird.

³ Es ist wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass vor den Entwässerungseingriffen die gesamte Torffläche der Moosallmend von Nasswiesen-, Moor- und Verlandungsgesellschaften bedeckt war. In den Folgejahren gingen die an nasse und feuchte Böden angepassten Arten ein und machten allmählich den an eine intensive Nutzung angepassten Wiesenpflanzen Platz.

haltig verändern: Zersetzung (Mineralisation) des Materials⁴, Materialschwund (Sackung)⁵, Auflockerung des Gefüges (poren- und luftreich), erhöhte Schwankungen beim Wärme- und Wasserhaushalt, erschwerte Benetzbarkeit des abgebauten Torfmaterials und in der Folge vermehrte Vernässung der Bodenoberfläche, Herabsetzung des Nährstoffbindevermögens. Abhängig vom jeweiligen Bodenwasserstand verlagern sich die Abbauprozesse im Laufe der Zeit in grössere Tiefen.

Wegen ihrer vegetationsgeschichtlichen Bedeutung, und um ihre ökologische Funktion als Lebensraum für bedrohte Tier- und Pflanzenarten sicherzustellen, hatte die Gemeinde Spiez bereits im Baureglement und Schutzzonenplan von 1996 den verbleibenden kleinen Teil der Moosallmend unter Schutz gestellt⁶ und im Richtplan Landschaft die Massnahmen beschrieben, die es für den Schutz vor einem fortschreitenden Abbau und einer zunehmenden ökologischen Verarmung braucht.⁷

2 Aus der Geschichte der Moosallmend Faulensee

Von allen zur Erforschung der Vegetations- und Klimageschichte bekannten integrativen Methoden ist die Pollenanalyse eine der leistungsfähigsten. Weil sie für die Forschungsarbeiten von Max Welten in der Moosallmend Faulensee von zentraler Bedeutung war, sollen hier einige ausgewählte Aspekte dieser Methode und ihrer Hilfsdisziplinen etwas näher vorgestellt werden. Die Darlegungen sollen nicht zuletzt auch dazu dienen, die wissenschaftliche Bedeutung dieses Objekts nachvollziehbar zu machen.⁸

⁴ Welten (1944) beklagt denn auch den schlechten Erhaltungszustand der Pollenkörner in den obersten Torf-Dezimetern.

⁵ Torf kann durch Entwässerung 35 % seiner Mächtigkeit verlieren. In der Moosallmend beträgt die Sackung zwischen 30 und etwas über 70 cm, gut ablesbar an den alten Drainageschächten.

⁶ Die Gemeindebehörde und Verwaltung hatte damals noch nicht Kenntnis, dass es sich beim Faulenseemoos um ein Klimaarchiv handelt.

⁷ Richtplan Landschaft 2000. Der Richtplan dient der Verwaltung als Steuerungsinstrument zur Umsetzung der in der Ortsplanung festgeschriebenen Ziele.

⁸ Nebenbei lassen sich einige in der Wissenschaftsgeschichte sehr oft zu beobachtende Phänomene belegen (*siehe nächste Seite*):

2.1 Von der Entdeckung der Pollenkörner zur Pollenanalyse

Die ersten wissenschaftlichen Publikationen über Pollen stammen von Marcello Malpighi (1628–1694, Italien) und Nehemiah Grew (1641–1712, Grossbritannien) – die beiden gelten als die eigentlichen Entdecker der Pollenkörner. In ihren Arbeiten (Grew 1682, Malpighi 1687) weisen sie auf die Formenvielfalt und die Artspezifität der Blütenstaubkörner hin und dokumentieren bereits mehrere Dutzend Pollentypen. Sie sind auch die ersten, welche die Funktion der Pollenkörner als männliche Reproduktionsorgane⁹ erkennen und beschreiben. Die nächsten grösseren Veröffentlichungen über Pollen sind rund hundertfünfzig Jahre jünger; die wichtigsten stammen von Hugo von Mohl (1834: «Bau und Formen der Pollenkörner»), Julius Fritzsche (1837: «Über den Pollen») und Hugo Karl Albert Fischer (1890: «Beiträge zur vergleichenden Morphologie der Pollenkörner»). Fischer beschreibt bereits rund 2000 verschiedene Pollentypen).

Die zunehmende Kenntnis über Pollenformen gegen Ende des 19. Jahrhunderts führte dazu, dass bei Untersuchungen von Sedimenten, nicht zuletzt auch bei der Analyse von Torfen in Hinblick auf ihre Verwendung in Badekuren, hie und da Pollenvorkommen entdeckt und beiläufig dokumentiert wurden. Noch fehlte aber die Einsicht, dass die Pollenanalyse eine taugliche Methode für die Erforschung der Vegetations- und Klimageschichte wäre.

Vorerst fand Axel Blytt (1843–1898; Botaniker, Norwegen) in manchen Moor-aufschlüssen wiederholt die folgenden Schichtungen: auf eine schwarze, stärker zersetzte Torfschicht mit zahlreichen eingelagerten Baumstrünken folgte

- (⁸)
1. unabhängige Gleichzeitigkeit von Entdeckungen und Methodenentwicklungen an mehreren Orten
 2. sehr rasche Verbreitung eines neuen Forschungszweigs, wenn die Zeit dafür reif ist
 3. Neue Erkenntnisse werfen neue Fragen auf
 4. Forschungsergebnisse (oder auch scheinbare Nicht-Ergebnisse) lassen sich auf einmal in einem ganz anderen, nicht erwarteten Kontext sinnvoll anwenden
 5. Oft bringt erst eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit wesentliche methodische Fortschritte und besser abgesicherte Resultate.

⁹ Grews und Malpighis Erkenntnisse waren, bedingt durch die beschränkten optischen Hilfsmittel, auf einer wissenschaftlichen Vorstufe. Es dauerte noch eine geraume Zeit, bis Giovanni Battista Amici (1786–1863) 1830 das Wachstum des Pollenschlauchs auf der Narbe entdeckte und Eduard Strasburger (1844–1912) 1884 schliesslich der Nachweis einer Verschmelzung der Samenzelle mit der Eizelle gelang.

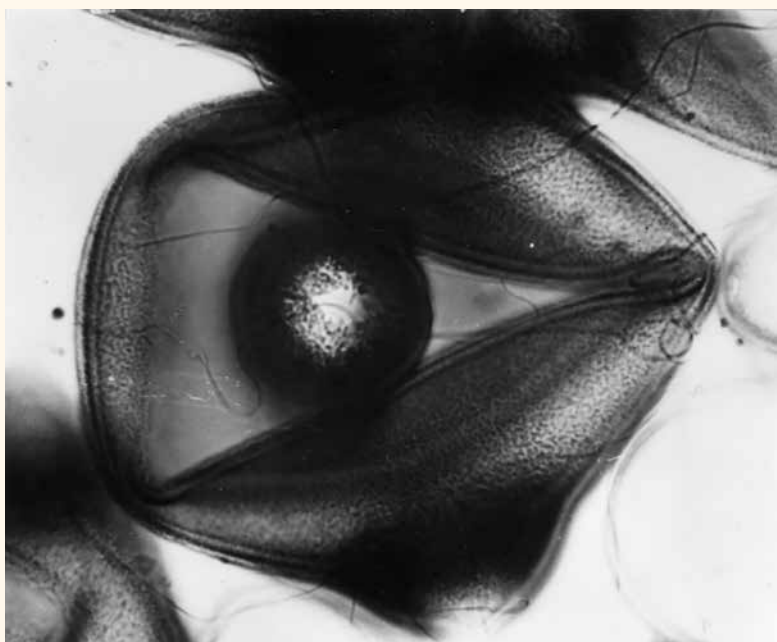
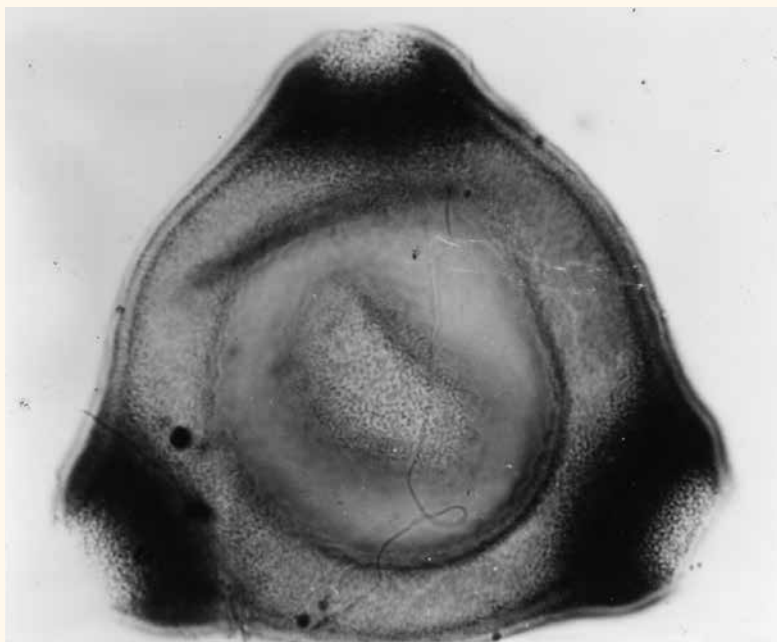
eine helle, deutlich weniger stark zersetzte, strunkfreie Torfauflage. Diese Sequenz wiederholte sich. Er zog daraus den Schluss, dass während der Nach-eiszeit (Postglazial bzw. Holozän) zweimal im Wechsel auf eine längere bewaldete Trockenperiode eine längere waldarme bis waldfreie Feuchtperiode mit starkem Moorwachstum gefolgt sein musste (Blytt 1876). Rutger Sernander (1866–1944; Botaniker, Schweden) setzte Blytts Forschungen mit demselben methodischen Ansatz fort. Seine Ergebnisse und Folgerungen (1908) stimmten weitgehend mit jenen von Blytt überein; die neuesten Resultate der Warvenchronologie¹⁰ halfen ihm beim Versuch, dem Zonierungskonzept von Blytt eine absolute Datierung zuzuordnen und die Zeitskala zurück bis zum Beginn des Spätglazials zu verlängern. Die «Blytt-Sernandersche Zonierung»¹¹ behielt trotz den in den letzten rund hundert Jahren erzielten wesentlichen methodischen Fortschritten bis heute in den Grundzügen ihre Gültigkeit. Die erste pollenanalytische Arbeit, die heutigen wissenschaftlichen Kriterien standhält, veröffentlichte 1916 der schwedische Geologe Lennart von Post. Mit seinen Pollendiagrammen¹² konnte er für die einzelnen untersuchten Horizonte in den Profilen Häufigkeitsschwankungen von Arten (Einwanderung, Dominanz, Rückgang, völliges Verschwinden) sichtbar machen. Gestützt auf die Kenntnis der ökologischen Ansprüche einzelner Arten konnten Hinweise auf die mutmasslichen paläoklimatischen Verhältnisse hergeleitet werden.

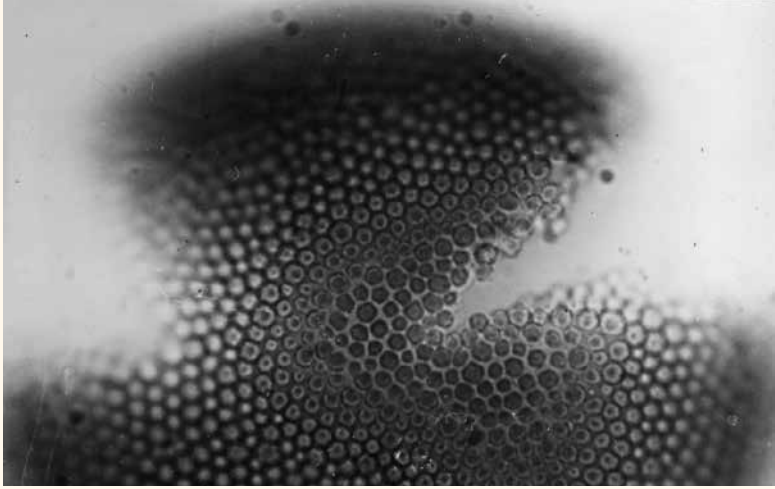
¹⁰ Warven sind hell-dunkel gebänderte (= laminierte) Jahresablagerungen im Millimeterbereich (in Skandinavien finden sich entsprechende Sedimente vorwiegend in ehemals periglaziären Seen), die im Prinzip jahrgenau ausgezählt werden können; allerdings stösst man hierbei oft auf Schwierigkeiten: Störungen bei der Sedimentation sind nicht immer zweifelsfrei als solche zu erkennen. Geringe Farbunterschiede zwischen den Frühjahr/Sommer- und Herbst/Winter-Jahresschichten erschweren das Auszählen. In Zonen mit fehlender Laminierung muss interpoliert werden.

Die bedeutendsten Pioniere dieser Forschungsrichtung waren Gerard De Geer (1858–1943, Schweden) und Matti Sauramo (1889–1958, Finnland).

¹¹ Von unten nach oben werden die folgenden holozänen Chronozonen unterschieden: Boreal (trocken, relativ warm) – Atlantikum (feucht, wärmste Periode) – Subboreal (trocken, warm) – Subatlantikum (feucht, relativ kühl).

¹² In einem Pollendiagramm werden, aufgegliedert nach einzelnen bzw. nach zu Gruppen zusammengefassten Pollentypen, deren prozentuale Anteile in der entsprechenden Profiltiefe dargestellt. Die Horizontpunkte der einzelnen Typen werden miteinander verbunden, um auf diese Weise die im Verlaufe der Zeit feststellbaren Frequenzfluktuationen besser sichtbar zu machen.





Die Pollenanalyse lässt vielfältige Rückschlüsse auf Natur- und Kulturgeschichte zu. So deuten etwa hohe Anteile von Weidenröschen-Pollen (S. 48) in Kombination mit Kohlepartikeln auf Waldbrände hin; denn Weidenröschen gedeihen massenhaft auf Waldboden, der durch eine Naturkatastrophe oder Rodung plötzlich den Schatten der Bäume verloren hat. Kommt Pollen von Kulturpflanzen wie Flachs (S. 49) dazu, ist das ein Hinweis auf Brandrodung und die Umwandlung von Wald in Landwirtschaftsland. (Lichtmikroskop-Aufnahmen von Max Welten, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern)

Nach Ende des Ersten Weltkriegs breitete sich die Pollenanalyse als Forschungsgegenstand – und vermehrt auch als Hilfswissenschaft insbesondere für die Quartärgeologie und die Archäologie – sehr rasch von Skandinavien über Dänemark nach Mitteleuropa aus. Die ersten Arbeiten aus der Schweiz stammen von Spinner (1925), Härrí (1925), Keller (1926, 1928, 1931), Furrer (1927), Lüdi (1929, 1935, 1939) und Rytz (1930, 1937).

Dank der zunehmenden Anzahl wissenschaftlich Arbeitender auf allen Stufen wurden die Probenahme-, Aufbereitungs-, Analyse- und Auswertungsmethoden schrittweise verfeinert.¹³ Internationale Kontakte an Symposien und auf Exkursionen und der rege Austausch von Forscherinnen und Forschern schafften wertvolle Gelegenheiten für einen Wissenstransfer.¹⁴

¹³ Beispiele: technische Verbesserungen an den bestehenden und Neuentwicklung leistungsfähigerer Bohrergeräte. Modifikationen und Verfeinerungen der Probenahme- und Aufbereitungsmethoden. Erweiterung der Kenntnis der Pollenformen. Verbesserung der Zuverlässigkeit von Altersbestimmungen des Probematerials. Problem des Anteils von Pollen-Fernflug bei windblütigen Arten an der Gesamtsumme desselben Typs in einer Probe etc.

¹⁴ Wichtige internationale Foren: INQUA (International Union for Quarternary Research, Gründung 1928); Vereinigung der Quartärbotaniker (Gründung ca. 1948). Wer eine akademische Karriere anstrebt, wird auch heute noch wenn möglich für eine gewisse Zeit an einem der renommierten skandinavischen Institute arbeiten.

¹⁵ Libby arbeitete zwischen 1948 und 1950 an der Frage nach der Zerfallsgeschwindigkeit des radioaktiven Kohlenstoffisotops ¹⁴C und nach der Möglichkeit, zur Bestimmung des Alters von organischem Probematerial die Messung der Restaktivität von ¹⁴C einzusetzen. Seine Hypothese war: Die ¹⁴C-Konzentration im gesamten C-Kreislauf ist über Jahrtausende konstant. ¹⁴C wird von lebenden Organismen aufgenommen; bei deren Tod beginnt der radioaktive Zerfall, wobei die Halbwertszeit 5568±30 Jahre beträgt («Radiocarbon Dating», 1952). Libby erhielt für diese Arbeiten 1960 den Nobelpreis. Die Radiokarbon-Methode wurde weltweit sehr rasch übernommen. Beim Vergleich der in den ersten Jahren anfallenden Messresultate fielen zahlreiche relevante Abweichungen auf. Nachmessungen führten zu einer Anpassung der Halbwertszeit auf die ab 1962 geltenden 5730±40 Jahre. Für das Bestimmen des ¹⁴C-Alters einer Probe wird gemäss Konvention immer noch die anfänglich festgelegte Halbwertszeit von 5568±30 Jahren angewendet; das Alter wird mit «yr BP» (Before Present = Jahre vor 1950) angegeben.

¹⁶ 1. der Bedarf an organischem Probematerial ist relativ hoch
2. beim Messen älteren Materials ist mit einer zunehmenden Ungenauigkeit zu rechnen; die zeitliche Zuverlässigkeitsgrenze der Resultate liegt bei etwa 50000 Jahren BP.

Bei Datierungsfragen waren die Auffassungen unter einzelnen Forschergruppen lange Zeit kontrovers. Hier schafften die wegleitenden Forschungsarbeiten von W.F. Libby (1908–1980) über die Radiokarbon- bzw. ^{14}C -Methode¹⁵ zur Altersbestimmung von organischem Material – trotz zweier methodisch bedingter Einschränkungen¹⁶ – weitgehend Abhilfe.

Mit der Einführung der Beschleuniger-Massenspektrometrie (Accelerator Mass Spectrometry, AMS) gegen Ende der 1970er-Jahre liessen sich diese Probleme insofern mindern, als für die neue Messmethode meist weniger als ein Hundertstel der ursprünglichen Probemenge benötigt wird¹⁷ und sich sehr alte Proben zuverlässiger bestimmen lassen.

Eine jahrgenaue Altersbestimmung ist mit Hilfe der Dendrochronologie¹⁸ möglich, wobei allerdings die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein müssen:

1. das Holz ist in der gemässigten Klimazone gewachsen
(gut erkennbare Jahrringmuster setzen einen jahreszeitlichen Wechsel von Winterruhe und sommerlicher Wachstumsphase voraus)
2. für die zu datierende Holzart ist eine Standardchronologie¹⁹
(= Jahrringkalender) vorhanden
3. die zur Generierung (Erzeugung) der Standardchronologie verwendeten Hölzer und die zu analysierende Holzprobe stammen aus vergleichbaren Klimaregionen
4. für die Analyse steht ein halbwegs gut erhaltenes Holzstück mit einem Lebensalter von idealerweise 70 Jahren zur Verfügung – kürzere Jahrringsequenzen sind meist nur schwer einer Standardchronologie zuzuordnen.

¹⁷ Von den weltweit über 130 ^{14}C -Labors sind heute bereits deren 48 mit AMS ausgerüstet.

¹⁸ «Erfinder» der Jahrringmethode ist der amerikanische Astronom Andrew Ellicott Douglass (1867–1962). Sein Forschungsansatz war freilich ein völlig anderer, hoffte er doch, eine Korrelation zwischen der zeitlichen Abfolge der klimaabhängigen Jahrringbreiten und dem elfjährigen Zyklus der Sonnenflecken nachweisen zu können. Obwohl ihm dies nicht gelang, hat er seine Untersuchungen 1919 veröffentlicht und damit den Weg für die seit den frühen 1960er Jahren wissenschaftlich angewendete Dendrochronologie vorbereitet.

¹⁹ Durch das Aneinanderreihen von sich überlappenden, verschiedenaltigen Jahrringmustern derselben Holzart aus klimatisch vergleichbaren Zonen wird unter Anwendung statistischer Methoden eine Standardchronologie (Standardkurve, Jahrringkalender) generiert (erzeugt). Einzelne Eichen- und Föhren-Standardchronologien decken bereits über 12 000 Jahre ab (für Raum Zürich 12 449 Jahre).

Bei Probenahmen für pollenanalytische Zwecke ist die vierte Voraussetzung nur selten gegeben, da mit den Bohrkernen – wenn überhaupt – meist zu wenig fossiles, relativ gut erhaltenes Holzmaterial gehoben wird. In besonders vielversprechenden Fällen hilft ein an der richtigen Stelle niedergebrachter Aufschluss weiter.

Von Anfang an fand zwischen Dendrochronologie- und ^{14}C -Labors ein reger Informationsaustausch statt. Die zunehmende Zahl von Altersbestimmungen, die parallel an jeweils derselben Holzprobe durchgeführt worden waren, förderte merkwürdige Differenzen zwischen den dendrochronologischen Altern und den ^{14}C -Altern zutage; die Streuung der Differenzen nährten den Verdacht, Libbys Annahme der Konstanz der ^{14}C -Konzentration in der Atmosphäre sei falsch gewesen. Weitere Parallel-Altersbestimmungen mit verfeinerten Methoden (AMS) gaben die Gewissheit, dass die ^{14}C -Konzentration im Verlaufe der vergangenen Jahrtausende sowohl gewisse langfristige als auch gewisse kurzfristige Schwankungen aufwies. Die grossräumig gute Reproduzierbarkeit der Resultate machte es möglich, eine Eichkurve zu generieren, mit deren Hilfe Radiokarbonalter (^{14}C -Alter; bezeichnet mit yr BP = Anzahl Jahre vor der Gegenwart) in Kalenderjahre (= absolutes Alter; bezeichnet mit cal yr BP) umgerechnet werden können.

In der zweiten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts entstanden an verschiedenen Universitäten eigentliche Palynologie-Kompetenzzentren; eines ist am heutigen Institut für Pflanzenwissenschaften in Bern. Max Welten (1904–1984) hat – ab 1952 als Extraordinarius, von 1956 bis 1974 als Ordinarius – die palynologische Abteilung am damaligen Systematisch-Geobotanischen Institut aus bescheidenen Anfängen zu einer international anerkannten Forschungsstelle ausgebaut. Sicher hat hierbei die Nähe zum ^{14}C -Labor von Hans Oeschger am Physikalischen Institut in Bern das ihrige dazu beigetragen.

2.2 Notizen zur Erforschungsgeschichte der Moosallmend²⁰

Erste Arbeit

Max Welten hat in den Jahren 1935 bis 1942 als erster das Faulenseemoos pollenanalytisch untersucht. Was anfänglich als Ergänzung zu seinen pollenanalytischen Untersuchungen in ausgewählten Mooren des Simmentals

²⁰ Wichtigste Grundlagen für dieses Kapitel: Welten (1944), Lotter et al. (1996).



Der Bohrkern aus dem Faulenseemoos zeigt deutlich die Warven – den Wechsel zwischen hellen Sommer- und dunklen Winter-Sedimenten. (Foto: André Lotter)

gedacht war, weitete sich im Laufe der Jahre zu einer umfangreichen Monographie über das Faulenseemoos aus (Welten 1944).

Die ersten fünf erbohrten Profile führten zu den folgenden Befunden:

Während das Pollenspektrum im ersten, bis zum glazialen Lehm 7.3 m messende Profil gut mit dem bisher Bekannten übereinstimmte²¹, zeigte das zweite, 9 m lange Profil²² von unten nach oben (d. h. vom Älteren zum Jüngeren) eine vollkommen andersartige Abfolge der Hauptbaumarten: 9.0–8.2 m Tanne-Fichte-Buche, 8.2–7.8 m Buchengipfel, 7.8–6.5 m Tanne-Fichte-(Buche), 6.5–5.4 m ausgeprägter Buchengipfel, 5.4–3.4 m Tanne-Fichte-Buche, 3.4–2.9 m kleiner Buchengipfel, 2.9–0.4 m Fichte-Tanne-Buche. Die

²¹ Das heisst, das Pollenspektrum weist – von unten nach oben – die folgende vielfach belegte Abfolge von dominierenden Baumarten auf: Birke → Föhre → Hasel → Eichenmischwald (= EMW, hier mit Eiche, Linde, Ulme) → Tanne → Buche → Tanne + Fichte. Die entsprechenden Zeiträume werden denn auch als «Birkenzeit», «Föhrenzeit» etc. bezeichnet.

²² Bis 1936 stand Welten ein Kammerbohrer mit lediglich 9 m Bohrgestänge zur Verfügung. Erst 1937 erhielt er von Werner Lüdi (Geobotanischen Institut Rübel, Zürich) leihweise einen Bohrer mit total 15 m Bohrgestänge.

obersten 40 cm wurden nicht analysiert, da die Pollenkörner zu wenig gut erhalten waren. Ergebnis: trotz der grösseren Länge von Profil 2 ergab sich keine Übereinstimmung der Pollenspektren in den beiden Diagrammen.

Die dritte Bohrung (9 m) wies in den oberen zwei Dritteln (0–5.7 m) ein ähnliches Pollenspektrum auf wie Profil 2, mit dem ausgeprägten Buchengipfel bereits bei 3.3–4.5 m. Zwischen 6.9–7.4 m und 8.7–9.0 m folgten, völlig überraschend, zwei weitere Buchengipfel, mit einer Tannen-Fichten-Buchen-Phase in den Zwischenzeiten. Von 6.5 bis 8.5 m fielen Welten erstmals die «mehrfach undeutlichen, oft aber auch scharf sich abhebenden horizontalen Wechsellagen von brauner Kalkgyttja und weisser Seekreide» (Welten 1944, S. 19) auf, die pro Lage 1–2 mm massen und jeweils zwischen 20 und 50 lückenlos aufeinanderfolgende Schichten zählten. Welten vermutete, es handle sich hierbei um Jahresschichten, doch die undeutlich bis nicht geschichteten Zwischenzonen schienen ihm für eine Auswertung vorerst zu gross.

Profil 4 (Länge 8 m) förderte dann zwischen 7.1 und 7.8 m die längst erwartete Eichenmischwaldzeit zutage, womit der Zusammenschluss mit Profil 1 endlich möglich wurde. Allerdings zeichneten sich hier die in den Profilen 2 und 3 gefundenen Buchengipfel kaum bis nicht ab, weshalb ein weiteres 9 m-Profil (Nr. 5) erbohrt wurde. In diesem Diagramm waren nun die vier im Anschluss an die Eichenmischwaldzeit (hier zwischen 8.4 und 9.0 m) zu erwartenden naheichenmischwaldzeitlichen Buchenzeitreihen mit den zugehörigen Buchenmischwald-Zwischenphasen tatsächlich wieder sehr deutlich zu erkennen. Der in den Profilen 2 und 3 gefundene ausgeprägte Buchengipfel erschien hier bereits zwischen 1.0 und 2.0 m Tiefe.

Ein kurzer Blick auf die bisher besprochenen Ergebnisse macht zwei für das pollenanalytische Arbeiten wichtige Voraussetzungen deutlich:

– eine sedimentologische: je grösser die jährliche Sedimentationsrate (angegeben in cm pro 100 Jahre) in einem See oder einem Verlandungsmoor ist, desto geringer ist die Anzahl der in einem Zentimeter Sedimentschicht eingelagerten Pollen-Jahresschichten – je geringer die jährliche Sedimentationsrate ist, desto grösser ist die Anzahl der in einem Zentimeter Sedimentschicht eingelagerten Pollen-Jahresschichten. Bei einem extrem geringen jährlichen Zuwachs kann in einer Sedimentschicht, die einige wenige Millimeter misst, der Pollenniederschlag von mehreren hundert Jahren eingelagert sein.

- *eine methodische: die Wahl der Abstände der Probeentnahmen²³ und der Schichtdicke des zu entnehmenden Probematerials in einem Profil sind entscheidend für Detaillierungsgrad und Zuverlässigkeit der vegetations-, klima- und urgeschichtlichen Aussagen²⁴. Je nach Fragestellung spielt auch die Gesamtzahl der in den Proben eines Profils bestimmten Pollentypen²⁵ eine wichtige Rolle.*

Welten erkannte diese Zusammenhänge sehr rasch und bemühte sich im weiteren Verlauf seiner Untersuchungen, die Beprobung der Profile den sedimentologischen Gegebenheiten anzupassen, so weit ihm das technisch möglich war. In den Folgeprofilen sind denn auch dank einer engeren Probenahme bei einzelnen Arten über längere Zeiträume vermehrt deutliche Häufigkeits-Fluktuationen festzustellen.

²³ Welten (1944) begann mit einer Probenahmefrequenz von 30 cm (Profil 1), verfeinerte aber sehr rasch auf 20 cm (Profile 2–6), ab Profil 7 gar auf 10 und – insbesondere in grösseren Tiefen – auch auf 5 cm.

²⁴ Ein Beispiel: eine postulierte Buchendominanz in einem Wald ist besser abgesichert, wenn für zwei oder mehrere aufeinanderfolgende Horizonte hohe Buchen-Prozentwerte ermittelt wurden, als wenn im Diagramm ein einziger Buchen-Peak vorhanden ist.

Wiederholte Vorkommen von Getreidepollen in benachbarten Horizonten geben einen sicheren Hinweis auf eine nahe menschliche Siedlung.

²⁵ Welten (1944) hat insgesamt rund 40 Pollentypen unterschieden (heutiger Standard, je nach Fragestellung: 170 und mehr); pro Horizont zählte er meist 100 Pollenkörner aus (heutige Norm: 400 bis 3000 Pollenkörner pro Horizont, mit Ausnahme von sehr pollenarmen Proben).

Bei den meisten Pollentypen ist ein Bestimmen der Familien- bzw. Gattungszugehörigkeit problemlos möglich; das Bestimmen der Artzugehörigkeit dagegen erfordert – falls bei den einzelnen Pollentypen überhaupt artspezifische Differentialmerkmale ausgebildet und mit den zur Verfügung stehenden optischen Hilfsmitteln erkennbar sind – einen je nach Pollentyp höheren bis wesentlich höheren analytischen Aufwand.

Drei weitere Bohrungen förderten nichts (Profil 6) bzw. nur wenig Neues zutage (Profile 7 und 8).²⁶

Ab 1937 brachte Welten mit einem Leihbohrer, dessen Gestänge nunmehr bis 15 m reichte, vier weitere Bohrungen nieder. Es seien hier nur kurz die wichtigsten methodischen Rahmenbedingungen und die wichtigsten Befunde erwähnt.

Profil 9 (12 m). Beprobung alle 5 cm. Erstmals Sedimentanalysen (Bestimmung des Gehalts an Kalk und organischem Material, mit graphischer Darstellung der prozentualen Anteile von Ton²⁷, Kalk und Organischem im Pollendiagramm). Von 3.92 m an abwärts einzelne kleinere und grössere geschichtete Sedimentzonen (Jahresschichten²⁸), ähnlich wie in Profil 3. Die Föhrenzeit, die letzte spätglaziale Phase an der Wende zum Postglazial, wird auf den untersten 20 cm des Profils noch knapp erfasst. Mit insgesamt 11.8 m Mächtigkeit ist dies eines der schweizweit längsten Postglazial-Profile (Zeitspanne nach neueren Erkenntnissen rund 12 000 Jahre). Die älteren spätglazialen Phasen wurden trotz der 12 m langen Bohrung nicht erfasst!

Profil 10 (6 m, dann Steinwiderstand). Beprobung alle 5 cm. Bestimmung des Kalkgehalts. Sehr ähnlicher Kurvenverlauf der im Diagramm dargestellten Pollentypen wie in Profil 8. Zwischen 2.2 und 1.5 m (am Übergang des Spätglazials zum Postglazial) sehr ausgeprägte sekundäre Birkenzeit, ab 1.7 m allmähliche Zunahme der Hasel und der Arten des Eichenmischwalds (Frühphase Postglazial). Die obersten 70 cm «trockene Torferde» (Welten 1944, S. 59), Material des im Profil 9 wie erwähnt 11.8 m mächtigen Postglazials, waren für eine pollenanalytische Bearbeitung unbrauchbar.

²⁶ Profil 7 (9 m): von 9.0–8.0 m Föhrenzeit, von 8.0–3.0 m lang gestreckte Eichenmischwaldzeit, anschliessend Andeutung von Buchenzeit mit Gipfeln (Material schlecht erhalten, deshalb Darstellungslücken im Diagramm).

Profil 8 (4 m): Spätglazial mit von unten nach oben Weidenzeiten I – III (4.0–3.4 m) → kleiner Sanddorgipfel → Birkenzeit (bis 1.9 m) → Föhrenzeit. Material in den obersten 40 cm nicht analysiert (umgearbeitete Torferde); das heisst, in diesem Profil fehlt das gesamte Postglazial.

²⁷ «Durch Subtraktion des Kalkgehaltprozentes und des Prozents für das Organische von 100 % erhielt ich auch das Tongehaltsprozent» (Welten 1944, S. 37).

²⁸ Jahresschichten, bestehend aus einer hellen Spätfrühjahrs-/Sommer- und einer dunklen Herbst-/Winter-/Frühfrühjahrsschicht, werden auch als Warven (schwed.) bezeichnet.

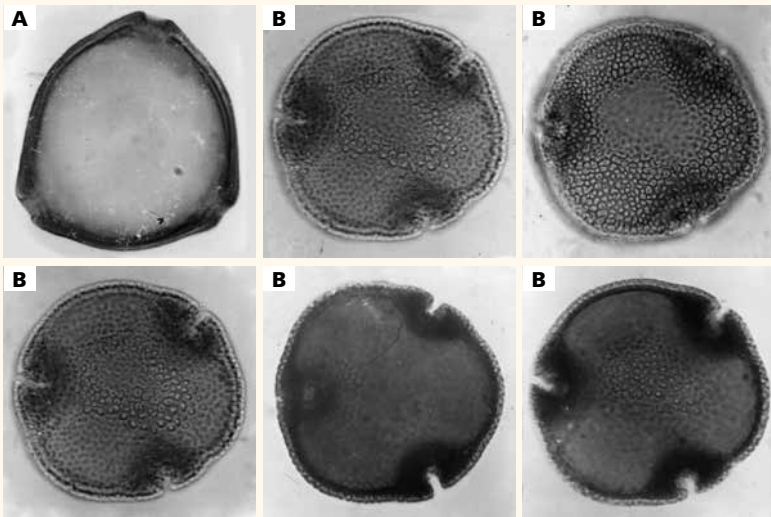
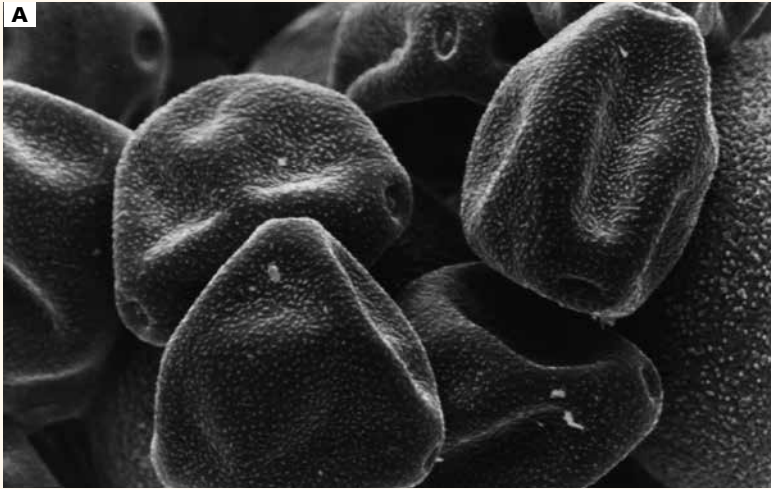
Profil 11 (14 m). Beprobung alle 2.5 cm, von 13.5 m an abwärts alle 1 cm (zwar aufbereitet, jedoch nicht vollständig untersucht). Sedimentanalysen (Kalk, Ton und organisches Material). Gut auswertbare Jahresschichten (mit Lücken, die interpoliert wurden). Von 0 bis 2.45 m Grobanalyse der Pollenspektren alle 10 cm (Ergebnis: Vergleichbarkeit mit Profil 9 trotz der vergrößerten Darstellung recht gut gegeben), zwischen 2.45 und 11.7 m nur Pollen ausgezählt (d. h. kein Diagramm gezeichnet). Ab 11.7 bis 14.0 m sehr detailliertes Pollendiagramm²⁹ über das gesamte Spätglazial und das frühere Postglazial bis zum Beginn der ersten Buchenzeit.

Profil 12 (15 m). Beprobung alle 2.5 cm, von 13.5 m an abwärts alle 2 cm. Sedimentanalysen (Kalk, Ton und organisches Material). Gut auswertbare Jahresschichten (mit Lücken, die interpoliert wurden). Sehr detailliertes Pollendiagramm, aber erst ab 13.0 m bis zum Profilende bei 15.0 m (Spätglazial, mit knapp erfasstem Übergang zum Postglazial bei ca. 13.2 m).

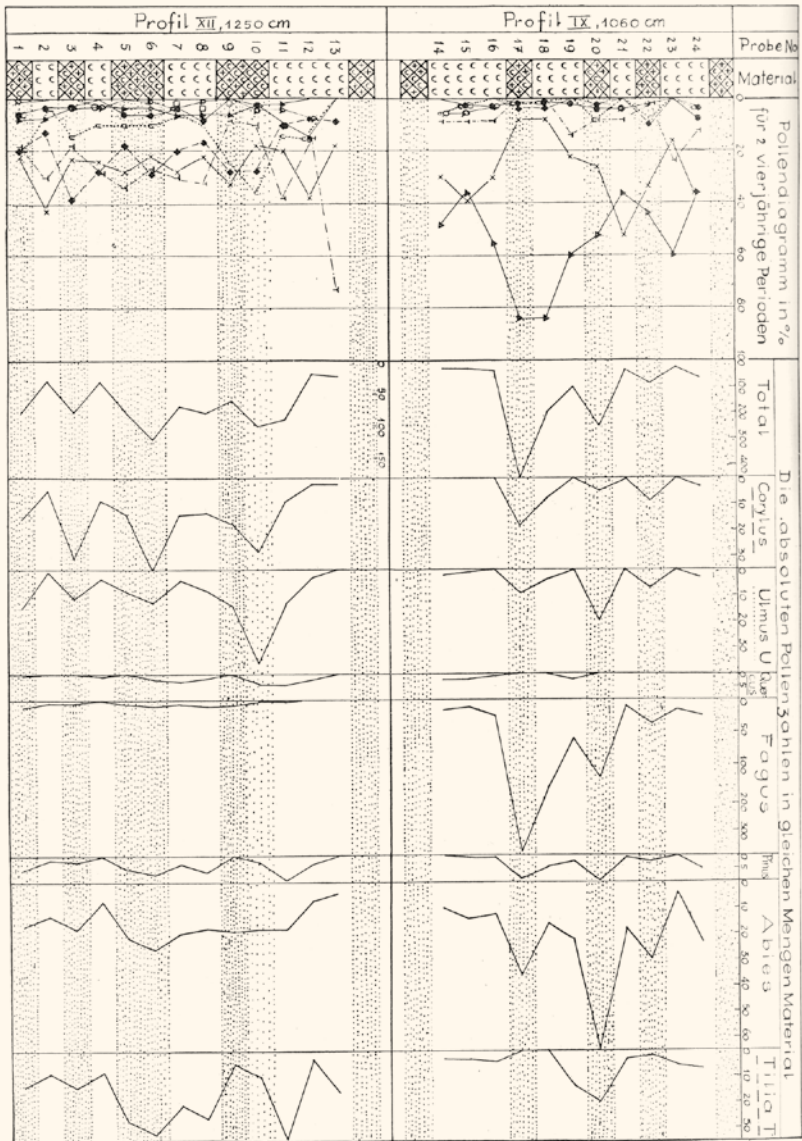
Trotz des zum Teil nur spärlich geschichteten Ausgangsmaterials unternahm Welten den Versuch, mit Hilfe der in den Profilen 9, 11 und 12 gefundenen Jahresschichten eine absolute Zeitskala herzuleiten – eine für jene Zeit bemerkenswerte wissenschaftliche Pioniertat. In minutiöser Feinarbeit zählte er die erkennbaren Jahresschichten³⁰ systematisch aus, ergänzte Fehlendes durch Interpolation und durch Kombination der Daten aus allen drei Profilen und erarbeitete sich so ein Werkzeug, mit dessen Hilfe er seine zwölf Profile anschliessend absolut datierte. Obschon die skandinavischen Warvenskalen, die damals bereits rund 12 000 Jahre abdeckten, allgemein bekannt waren und überdies einige Schweizer Forscher (u. a. Nipkow, Lüdi, Härrli) in ihren Untersuchungsobjekten (insbesondere Genfer-, Zürich-, Baldegger- und Sihlsee, Wauwilermoos) ebenfalls gewarvte Sedimente gefunden hatten, war Welten der erste, der mit Erfolg den in diesem Verlandungsmoor verborgenen Kalender entschlüsselte. Mit dieser Zeitkontrolle gelang es Welten, 1944 am Faulenseemoos die ersten Polleninfluxe (pollen/cm²/yr) weltweit zu berechnen – eine Leistung, durch die das Faulenseemoos in der Quartärwissenschaft Berühmtheit erlangt hat.

²⁹ Das Diagramm enthält ungleich detailliertere Informationen als beispielsweise jenes von Profil 8. Erstmals ist hier der Übergang vom Spät- zum Postglazial vollständig dokumentiert.

³⁰ Die längste zusammenhängende Warvensequenz zählt gemäss Protokoll (Welten 1944, S. 131 ff.) 1300 Jahre, die kürzeste 4 Jahre.



Pollen der früh blühenden Haseln (A) fand Max Welten vor allem in den dunklen Sedimentschichten, Pollen von Sommerblühern wie Linde (B) in den hellen. Mit dieser Methode, die noch heute verwendet wird, gelang Welten der Nachweis, dass der Wechsel zwischen hellen und dunklen Schichten tatsächlich dem Wechsel der Jahreszeiten entsprach. (Oben: Elektronenmikroskop-Aufnahme; unten: Lichtmikroskop-Aufnahmen von Max Welten, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern)



Paläontologischer Nachweis der Jahresschichtung
(Welten 1944, S.117. Mit freundlicher Genehmigung der Stiftung Rübél)

Schlussbemerkung: Um die grosse Arbeit von Welten angemessen zu würdigen, ist es unerlässlich, sich zu vergegenwärtigen, mit welcher primitiven Hilfsmitteln und Ressourcen er damals auszukommen hatte.³¹ Sein Bemühen, Arbeitsabläufe und Arbeitsaufwand wo immer möglich zu optimieren, wird unter Berücksichtigung dieser Voraussetzungen verständlich.

Zweite Arbeit

Auf Anregung von Hans Oeschger³² liess Welten in den Siebzigerjahren einige seiner gut entwickelten Seekreide-Objekte durch einen Doktoranden unter Anwendung der Sauerstoffisotopenanalyse³³ ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) und parallel dazu pollenanalytisch nachuntersuchen (Eicher und Siegenthaler 1976; Eicher 1979

³¹ Beispiele: limitierte Länge des Bohrgestänges, geringe auswertbare Probemenge (Bohrkern- \varnothing nur ca. 3.5 cm), fehlendes Labor und Laborpersonal (Aufbereitung des Materials und chemische Analysen zu Hause in Waschküche und Werkstatt; Flusssäurebehandlung im Freien!), lichtschwaches Mikroskop mit geringer Vergrösserung etc.

³² H. Oeschger, Leiter des Labors für Klima- und Umweltphysik am Physikalischen Institut in Bern, führte an seinem Isotopenlabor nebst der ^{14}C - auch die Sauerstoffisotopenanalyse ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) ein.

³³ H. C. Urey (1893–1981), von 1940–45 Leiter einer Forschergruppe an der Columbia-Universität, die an der Entwicklung der Atombombe arbeitete, wechselte nach Ende des Zweiten Weltkriegs an die Universität von Chicago. Bei seinen Studien an Sauerstoff-Isotopen (^{18}O , ^{17}O , ^{16}O) in wässrigen Kalziumkarbonatlösungen stellte er bei den ausgefällten Kalziumkarbonaten eher zufällig eine temperaturabhängige Isotopenfraktionierung fest. Er erkannte, dass ihm damit eine praktikable Methode zur Bestimmung der Paläotemperaturen in biogenen Sedimenten beliebigen Alters zur Verfügung stand.

Auch Wassermoleküle, bestehend aus einem sehr hohen Anteil an H_2^{16}O (> 99 %) und einem geringen Anteil an H_2^{18}O (ca. 0.2 %), erfahren beim Durchlaufen des ozeanisch-atmosphärischen Wasserkreislaufs eine temperaturabhängige Isotopenfraktionierung (das schwerere ^{18}O verdunstet an der Wasseroberfläche weniger rasch, kondensiert bei kühleren Temperaturen in einer Wolke jedoch eher und wird deshalb rascher wieder ausgerechnet); d.h. die Verhältniszahl $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ist temperaturabhängig ($\delta^{18}\text{O} = \{[(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Probe}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{Standard}}] - 1\} * 1000$, angegeben in ‰).

Zur Bestimmung der biogenen Paläotemperaturen (hergeleitet aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten) sind reine Seekreiden hervorragend geeignet; störend wirken Beimischungen von Ton und/oder organischem Material.

(Diss.); Eicher 1980). Die Ergebnisse der Pollenanalyse unterzog Eicher einem kritischen Vergleich mit den Ergebnissen der an denselben Bohrkernen bestimmten $\delta^{18}\text{O}$ - und den überdies ermittelten $\delta^{13}\text{C}$ -Werten.

Die wichtigsten Befunde: Die $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven bestätigen und ergänzen die aufgrund der pollenanalytischen Ergebnisse hergeleiteten Klimainterpretationen für das Spätglazial weitgehend. In der Frühzeit des Spätglazials, wo die Pollendichte in der Regel noch gering ist und die Pollenkurven im Diagramm deshalb unter Umständen keine deutlichen Verlaufsänderungen aufweisen, kann die $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve eine willkommene Hilfe zur Abgrenzung der frühesten Chronozonen³⁴ sein. Neu sind Hinweise auf zwei kurzfristige Stadiale (Zeiten deutlicher Kälteschwankungen), eine erste um 11 000 yr BP³⁵, Dauer rund 200 Jahre (sogenannte Gerzenseeschwankung, bei 13 000 cal yr BP), eine zweite um 9800 yr BP, Dauer rund 150 Jahre. Aus der Gleichzeitigkeit von vergleichbaren Ereignissen an geographisch verschiedenen Orten lassen sich Phasen überraschender Destabilisierung der Ökosysteme ableiten.

Dritte Arbeit

In seinem Übersichtswerk «Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen»³⁶ (Welten 1982) bespricht Welten auch seine ehemalige Faulenseemoos-Arbeit (Welten 1944) und publiziert ein weiteres Bohrprofil (Profil 14), welches das Spätglazial und den Übergang zum Postglazial umfasst.

Seine Hauptkritikpunkte zur Faulenseemoos-Arbeit: Angenäherte Chronologie fürs Postglazial zwar geglückt, doch wurde der markante Haselanstieg im Präboreal als zu jung datiert (7300 yr BP an Stelle von 9500 yr BP).

³⁴ Chronozonen: Erdgeschichtliche Zeiträume, die über physikalische Datierungsmethoden eine genau festgelegte Zeitstellung haben.

³⁵ Jahre vor heute («years before present»)

³⁶ Aus der Zusammenfassung: «Der Verfasser hat die ersten 50 Jahre pollenanalytischer Forschung in der Schweiz miterlebt und mitgestaltet. Im Querschnitt vom schweizerischen Mittelland durch die bernischen Vor- und Hochalpen ins tiefe Trockental des Wallis hinunter, an den penninischen Walliser Südalpen empor und über den Simplon ins oberste Südalpengebiet ist eine grosse Zahl von Einzeluntersuchungen angefallen. Diese werden hier vorgelegt, besprochen und im grösseren Zusammenhang betrachtet.»

Die für das Spätglazial ausgezählten Datierungen sind kaum brauchbar; trotzdem zeichnen die Pollenkurven – insbesondere im Diagramm 12 in der Spalte «Absolutes Pollendiagramm, Pollen pro Jahr und cm²» – den typischen Verlauf des spätglazialen Klimas mit den diversen Stadien (Kaltzeiten) und Interstadialen (Warmzeiten) deutlich und, bezüglich der relativen Verhältnisse zueinander, richtig nach.

Mangelhaft ist die Erfassung des Nichtbaumpollens. Wohl wurden laufend auffallende Typen notiert und kurz beschrieben, wegen fehlenden Vergleichsmaterials jedoch nicht bestimmt.

Die Weidenzeiten I bis III waren eigentliche Steppenzeiten mit dominanter *Artemisia* (Beifuß) und nur wenig *Salix* (Weiden); wegen der relativen Ähnlichkeit dieser beiden Pollentypen wurde sämtlicher *Artemisia*-Pollen als *Salix* notiert. *Juniperus* (Wacholder) wurde nicht erkannt – Welten lernte diesen erst 1951 in Kopenhagen bei Troels-Smith kennen.

Mit seiner neuen Bohrung und neuen Analysetechniken gelang Welten eine wesentlich verbesserte Datierung. Das 1951 neu erbohrte Profil 14 lag wenige Meter westlich von Profil 10, Bohrtiefe 650 cm. Probenahme, Aufbereitung und Analyse ab 110 cm, Beprobung bis 320 cm alle 10 cm, von 320 cm an abwärts bis 640 cm alle 5 cm, unterste Probe bei 650 cm. Erfasst wurde so der Zeitraum zwischen dem Spätglazial (ca. 14 000 yr BP) und der Frühphase des Postglazials bis ins Boreal (ca. 8000 yr BP).

Die einschlägigen Indikatoren im Diagramm sind so eindeutig, dass die Zuweisung der Chronozonen problemlos möglich ist. Einzelne Arten weisen verschiedentlich Oszillationen auf, was Welten zur Frage veranlasst, ob dies eventuell ein Nachzeichnen kleinerer Klimaschwankungen sei. Eine Antwort erhofft er sich von Eichers ¹⁸O/¹⁶O-Untersuchungsergebnissen.

Neu wurde in 430 cm Tiefe der Laacher Bimstuff³⁷ gefunden, ein in weiten Teilen Mitteleuropas hilfreicher Zeitmarker für allerödzeitliche Sedimente.

³⁷ Das Material stammt von einem gewaltigen Vulkanausbruch eines im rheinischen Grabenbruchsystem in der Eifel gelegenen Vulkans beim heutigen Ort Maria Laach (ca. 40 km SSE von Bonn und ca. 10 km W von Andernach). Der 3.3 km² messende Laacher See füllt heute den ehemaligen Krater aus.

Das Alter der Laacher See Tephra (LST) wird – je nach der Bestimmungsmethode – mit 11 000 bis 11 230 yr BP (¹⁴C-Jahre), 12 900 bis 12 940 v. yr BP (Warvenjahre aus Seesedimenten), 12 836 yr BP (GRIP-Alter) oder 12 916 bis 13 037 cal. yr BP (Dendrochronologie) angegeben. Die LST ist in weiten Teilen Europas eine der wichtigsten Isochronen (= Linien, Schichten gleicher Zeit) in Sedimenten des Spätglazials.

Erstmals nachgewiesen wurde der Laacher Bimstuff (heute in den meisten Publikationen als Laacher See Tephra, kurz LST, bezeichnet) lange nach Weltens Faulenseemoos-Monographie. Eine Übersicht über die zu Beginn der Siebzigerjahre bekannten Vorkommen geben Wegmüller und Welten (1973). Heute sind wesentlich mehr Fundstellen bekannt, weil vermutetes, rein visuell nicht sicher identifizierbares Fundmaterial chemisch analysiert und so sicher bestimmt werden kann.

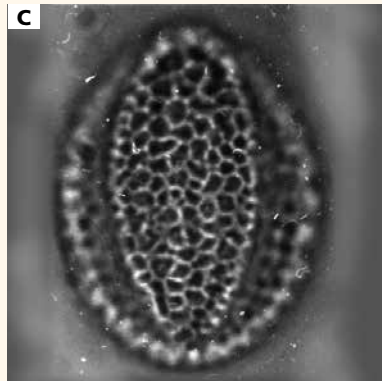
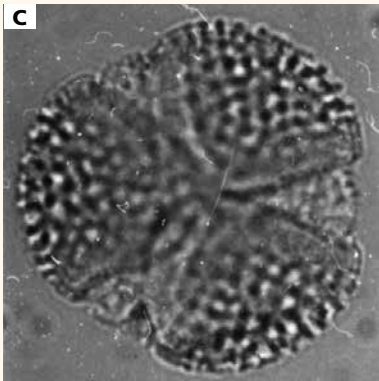
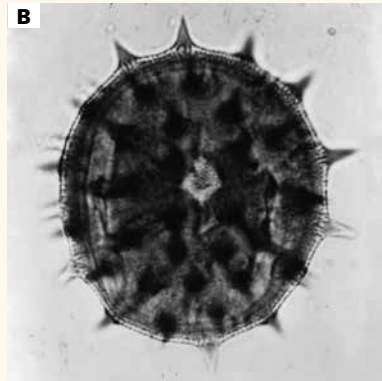
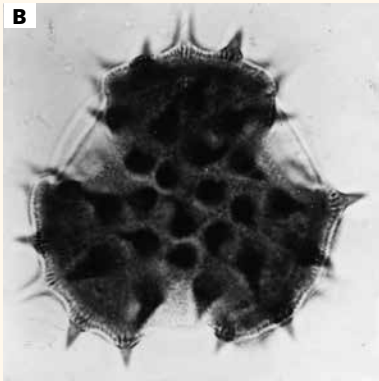
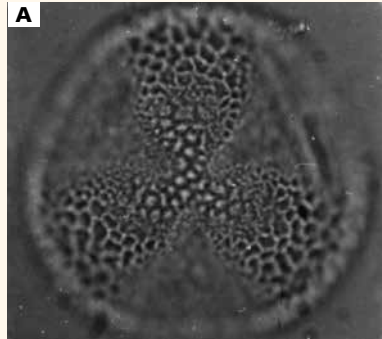
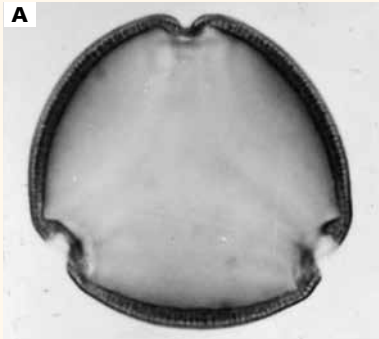
Gerade weil Welten bis zuletzt palynologisch äusserst aktiv forschte und unter anderem auch die dynamische Entwicklung beim Einbeziehen von Proxydaten³⁸ seit Beginn der Achtzigerjahre intensiv mitverfolgte, erhält der folgende Satz (Welten 1982, S. 13) eine besondere Bedeutung: «Da fast alle älteren Untersuchungen nur noch den Wert von Stichproben und Voruntersuchungen haben, sind die Forschungsaufgaben heute fast unbegrenzt.» Er muss als Verpflichtung verstanden werden, mit den unersetzlichen Natur-Archiven, insbesondere den Verlandungs- und Hochmooren, künftig schonend umzugehen, um auch zukünftigen Generationen neue Forschungserkenntnisse zu ermöglichen.

Vierte Arbeit

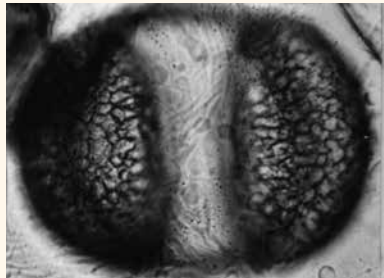
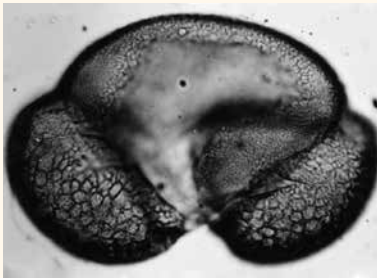
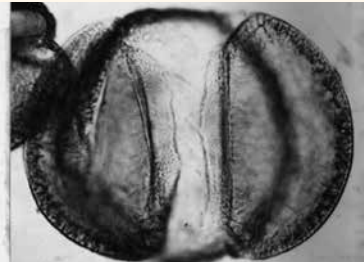
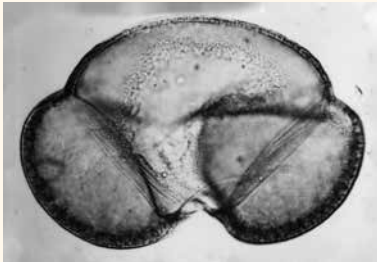
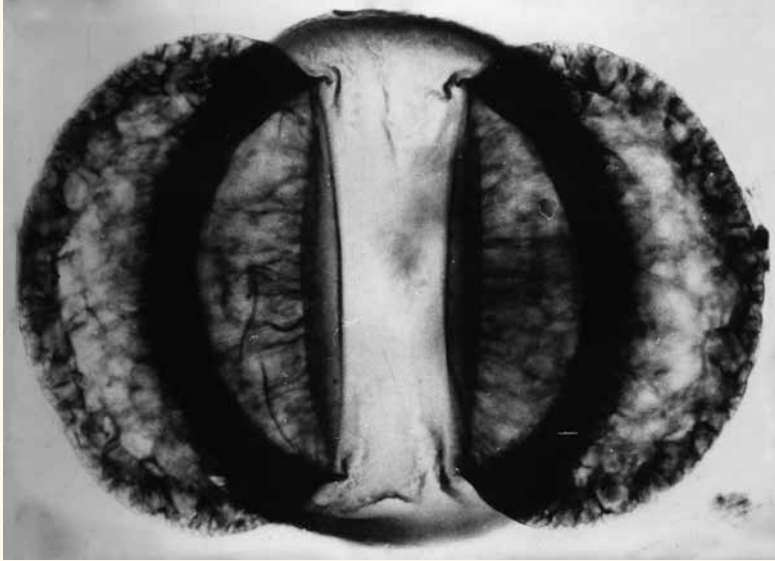
1991 startete eine Arbeitsgruppe um André Lotter (Lotter et al. 1996; van der Knaap et al. 2004) ein Forschungsprojekt mit dem Ziel, offene Fragen der Faulenseemoos-Vergangenheit, die sich im Laufe der Jahre als Folge der vielerorts neu gewonnenen Erkenntnisse ergeben haben, neu aufzuarbeiten – zum Teil mit neuen, zum Teil modifizierten und verfeinerten Untersuchungsmethoden.

Lotter konnte gestützt auf Weltens Untersuchungsergebnisse davon ausgehen, im Faulenseemoos an bestimmten Stellen mit Sicherheit gewarvte Sedi-

³⁸ Proxydaten sind «Stellvertreterdaten» – z. Bsp. Konzentrationen von Molekülen und Ionen, Verhältniszahlen von stabilen Isotopen, Jahrringe etc. –, die nur indirekt, das heisst etwa über eine bekannte Abhängigkeit der Reaktionsprodukte von bestimmten Parametern während der Synthese, Hinweise auf einzelne interessierende Messgrössen (hier insbesondere Klimadaten, wie Temperatur, Niederschlag etc.) zu geben vermögen (indirekte Indikatoren).



Pollenkörner von insektenbestäubten Arten zeigen vielfältige Strukturen und Muster. Beispiele: Weiden (C) und Sonnenröschen (A), die auch im Faulenseemoos häufig gefunden wurden, sowie Hufplattich (B) als ein Vertreter der Korbblütler, die besonders dekorative Pollenformen zeigen.



Die Pollenkörner der windbestäubten Nadelbäume zeichnen sich durch grosse Luftsäcke aus, mit denen sie weit fliegen können. Beispiele: Arve und Weisstanne. (Lichtmikroskop-Aufnahmen von Max Welten, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern)

mente vorzufinden.³⁹ Gewarvte Sedimente sind für Palynologen deshalb von besonderem Interesse, weil sie dank der Möglichkeit einer jahrgenaue Datierung des Probematerials beim Lösen zahlreicher Probleme unverzichtbare Hilfe leisten.

Beispiele:

- überprüfen, allenfalls erweitern und wo nötig korrigieren der ¹⁴C-Kalibrierkurve(n)
- absolute Datierung der Bohrprofile. – Je genauer ein Diagramm datiert werden kann, desto aussagekräftiger fällt ein Vergleich mit anderen, dank Warven-Vorkommen ebenfalls absolut datierten Diagramm-Kurvenbildern⁴⁰ aus. In zeitlich hoher Auflösung können auf diese Weise einerseits regional gleichlaufende, andererseits abweichende Entwicklungen der Vegetationsdecke erkannt, quantifiziert und zeitlich zugeordnet werden
- plötzliche markante Klima-Ereignisse, wie sie anhand von $\delta^{18}\text{O}$ -Werten bereits mehrfach nachgewiesen werden konnten, lassen sich bei genügend Probematerial exakt datieren. In den laminierten Folgeschichten kann alsdann die zeitliche wie auch die quantitative und qualitative Reaktion der Vegetation auf ein solches Ereignis⁴¹ mit hoher Genauigkeit nachverfolgt werden.

³⁹ Lotter et al. (1996) betonen in der Einleitung, dass in Zentraleuropa Verlandungsmoore und Seesedimente mit über einen längeren Zeitraum jahrweise geschichteten Sedimenten sehr selten sind.

Bei den Bohrungen stellte sich heraus, dass im Faulenseemoos einzig zwischen 8.5 und 13.2 m wirklich gut gewarvte Sediment-Abschnitte vorhanden sind.

⁴⁰ Lotter ist insbesondere daran interessiert, zur Erhärtung seiner Soppensee-Resultate eine spätglaziale Referenz-Chronologie zu finden (der Soppensee, ca. 4 km N von Wolhusen gelegen, ist eine der wenigen bekannten Lokalitäten mit bis in grössere Tiefen gewarvten lakustrinen Sedimenten).

⁴¹ Aus aktuellem Anlass – Frage nach einem allenfalls anthropogen bedingten Klimawandel und seinen künftigen Folgen auf die bestehende Vegetationsdecke – interessiert in solchen Fällen insbesondere die Frage, wie viele Jahre zwischen dem festgestellten Klima-Ereignis und den ersten signifikanten Veränderungen in der Vegetation verstreichen. Das Wissen um diese Grössenordnungen ist erforderlich, um die Zuverlässigkeit der aktuellen Klimamodelle zu überprüfen und allenfalls die entsprechenden Berechnungsparameter anzupassen.

Die wichtigsten Ergebnisse aus der bisher veröffentlichten Publikation (Lotter et al. 1996):

- insgesamt fünfzehn Bohrungen (Piston-Bohrer, Bohrtiefen zwischen 14.2 und 15.3 m, Proben-Ø 62 mm) längs eines ca. 60 m langen NW-SE-Transekts, wenige Meter SW des heutigen Rest-Feuchtgebiets (Parzelle 5363) und auf einem 5 m-Gitternetz rund um die vermutete Bohrstelle von Weltens Profil Nr. XII. Fünf der letzteren sind nicht gewarvt.
- mehrere scharfe Horizontmarken⁴² in den einzelnen Profilen dienen als Isochronen, das heisst als Marken gleichen Alters. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, das gesamte Probematerial – vorerst relativ – chronologisch zu gliedern. Von den fixen Punkten aus sind beliebige Kontrollen, Korrelationen und Interpolationen der analysierten Daten sowie ein Übertragen von allfällig ermittelten absoluten Altern auf andere Profile möglich. Unterschiedliche Abstände zwischen zwei benachbarten Marken in den verschiedenen Bohrkernen machen deutlich, dass die jährliche Sedimentationsrate im selben Zeitabschnitt auf relativ kleinem Raum stark variieren kann, so insbesondere in gewissen Phasen des Postglazials und im frühen Spätglazial⁴³
- Warven: ab 7.8 m⁴⁴ zuerst drei kürzere Sequenzen (10 bis 75 cm), dann eine lange Sequenz (maximal 2 m); tiefster Punkt bei 13.3 m. Jahres-schicht-Natur der Warven stichprobenweise verifiziert. Kriterien: dunkle Schichten mit Pollen von Frühblühern, helle Schichten mit Pollen der später blühenden Arten, zudem hier im oberen Teil relativ grosse Kalkkristalle

⁴² Zwischen 3.9 und 7.1 m Bohrtiefe sind in der Mehrzahl der Bohrkerns zwei bis vier, ab 8.2 m bis zum Profilende in sämtlichen Bohrkernen neun solcher Horizontmarken (= «Marker Horizons») mit je nachweislich identischen Eigenschaften vorhanden. Beispiele: Laacher See Tephra, scharfe Sedimentwechsel, markante Peaks der magnetischen Suszeptibilität (= Magnetisierbarkeit minerogener Stoffe, die hier – sofern vorhanden – einer organischen und/oder karbonatreichen Matrix beigemischt sind) etc.

⁴³ Hier fällt vor allem die unterschiedliche Mächtigkeit der Seemergel (= Gemenge von eingeschwemmtem Ton und ausgefälltem Kalk) auf: In der Uferzone (im Litoral) kann die Seemergelschicht 1 m und mehr erreichen, zum Seegrund hin nimmt sie deutlich ab.

⁴⁴ Der Beginn des gewarvten Materials liegt in den einzelnen Profilen zwischen 7.8 und 9.8 m.

- (sommerliche Temperaturen!), gegen das Ende der hellen Schicht deutlich kleiner werdend (geringere Temperaturen im Spätsommer und Herbst)
- das erarbeitete Pollendiagramm⁴⁵, eine Kombination der Ergebnisse aus den beiden sehr ähnlichen Bohrkernen 14 und 15, zeigt für die Hauptbaumarten in den groben Zügen eine erstaunlich gute Übereinstimmung mit den Diagrammen von Welten (1944). Auf einige Fehler und Unstimmigkeiten in seiner Arbeit wies Welten (1982) bereits explizit hin.
 - eine AMS-¹⁴C-Messung an einem Holzrest aus Profil 15, geborgen in 12.31 m Tiefe, ergab ein Alter von 5805 ± 70 yr BP.
- Die analysierten geochemischen Parameter (C_{TOTAL} , $C_{ANORGANISCH}$, $C_{ORGANISCH}$, N_{TOTAL} , Ca, Mg, Fe, Mn, Zn)⁴⁶ dienen – zusammen mit den pollen-analytischen Befunden – dazu, die klimatischen Verhältnisse zu rekonstruieren, wie sie zu einer bestimmten Zeit im einstigen See und seiner Umgebung geherrscht hatten.

Aus den Messwerten ergibt sich folgendes Bild: die sehr tiefen Konzentrationen von C_{TOT} und N_{TOT} und die hohen Mg-Werte in den untersten 50 cm der Bohrkernbelegungen belegen, dass der Faulensee in seiner Frühphase oligotroph⁴⁷ war, mit – bedingt durch die anfänglich reichlichen Mengen an Schmelz- und Regenwasser – einem relativ hohen Fremdmaterialeintrag. Im Verlaufe des Spätglazials setzt (→ allmähliche Erwärmung des Klimas!) eine hohe biogene Produktivität des Sees ein, der Eintrag von Fremdmaterial – ablesbar an den abnehmenden Anteilen in den Sedimenten und der ausgeprägten Abnahme der Mg-Konzentration – geht markant zurück (→ die langsam aufkommende tundrenartige Vegetation wirkt sich zunehmend erosionshemmend aus). Als Folge dieser Entwicklung: nahezu sauerstofffreie Bedingungen am Seegrund und hohe sommerliche Karbonatausfällungsraten⁴⁸. Trotz teils markanter

⁴⁵ Das Diagramm umfasst rund 10000 Jahre und reicht vom Spätglazial bis ins Subboreal. Dargestellt wurden nur die wichtigsten Pollentypen – immerhin sind es deren 43, mehr als Welten (1944) insgesamt berücksichtigt hat.

⁴⁶ C = Kohlenstoff; N = Stickstoff; Ca = Kalzium; Mg = Magnesium; Fe = Eisen; Mn = Mangan; Zn = Zink. Die beiden Profile 14 und 15 wurden zwischen 2.0 und 14.5 m alle 10 cm beprobt.

⁴⁷ nährstoffarm

⁴⁸ Die hohen Karbonatausfällungsraten trugen wesentlich zur Ausbildung gut erkennbarer Warven bei.

Fluktuationen insbesondere bei den Messwerten für C_{ANORG} , Ca und C_{ORG} , die auf einen schwankenden Nährstoffeintrag hinweisen, bleiben diese Verhältnisse bis zur beinahe vollständigen Verlandung des ehemaligen Sees im Subatlantikum (in den letzten 2500 Jahren) bestehen. Verglichen mit den im Soppensee bestimmten Analysewerten war der einstige Faulensee deutlich nährstoffärmer. Dieser Befund wird durch die relativ tiefen Eisen- und Manganwerte erhärtet.

Forschungsgegenstand und vorläufige Ergebnisse der Untersuchungen:

Das Schwergewicht dieser Arbeit liegt im Postglazial, wobei sich das Hauptaugenmerk auf die Frage nach den Ursachen des Rückgangs der Buchen nach dem ersten Buchengipfel richtet.

Der Zeitraum zwischen 6940 und 5750 cal yr BP, also total 1190 Jahre mit durchgehend gewarvten Sedimenten, wurde in einer sowohl zeitlich als auch pollenanalytisch sehr hohen Auflösung bearbeitet: insgesamt 176 Proben (das heisst, jede Probe schliesst eine Phase von nur gerade sechs bis sieben Jahren ein), 186 (!) identifizierte und ausgezählte Pollentypen.⁴⁹

Mit der Berechnung der Durchschnitts-Zeigerwerte (Landolt 1977) für Feuchtigkeit, Licht, Humus- und Nährstoffgehalt, angewendet auf die Pollentypen der seltenen Krautarten, können paläoökologische Fragen beantwortet werden.

Die ersten Buchen breiteten sich vor dem Jahr 6850 cal yr BP in geringer Zahl allmählich im Gebiet aus. In den folgenden 150 Jahren drängt die Buche die Arten des Eichenmischwalds massiv zurück und wird zur vorherrschenden Baumart. Die Weisstanne, bereits früher spärlich vorhanden, nimmt langsam zu, bleibt aber immer im Nebenbestand.

⁴⁹ Mit «Pollentypen» werden, genau gleich wie mit «Taxa» (Mehrzahl von Taxon), ranglose systematische Einheiten bezeichnet – d. h. es steht nicht fest, ob es sich hierbei um die Zugehörigkeit zu einer Familie, einer Unterfamilie, einer Gattung, einer Art oder einer Unterart handle.

Die Buche behält ihre Vorherrschaft während 640 weiteren Jahren.⁵⁰ Nach der 60 Jahre dauernden klimabedingten Bestandesinstabilität (siehe Fussnote 52) brechen die Buchen-Altbestände als Folge einer Vernässung der Böden plötzlich zusammen. Die Weisstanne bleibt von diesen Geschehnissen unberührt. Erst nach Ablauf von rund zweihundert Jahren⁵¹ steigt die Weisstannen-Kurve markant an, während die Buche weiterhin auf tiefen Werten verharrt.

Aus den Untersuchungsergebnissen wird geschlossen, dass für die mehr als sechshundert Jahre dauernde Dominanz der Buche gegenüber der Weisstanne nebst den erforderlichen klimatischen Rahmenbedingungen auch die festgestellten minimalen anthropogenen Einwirkungen förderlich waren.

2.3 Internationales Palaeolimnologen-Symposium mit Exkursion ins Faulenseemoos 1997

Die folgenden Zitate aus dem Symposiumsbericht, veröffentlicht in den «Nachrichten der Deutschen Geologischen Gesellschaft» (1997), sollen die Bedeutung, welche die Fachwelt dem Faulenseemoos beimisst, dokumentieren: «Das 7th International Symposium on Palaeolimnology» fand vom 28.8.–2.9.97 in Heiligkreuztal nahe Riedlingen in Baden-Württemberg statt, ... Das Symposium wurde von J. Merkt, A. Kleinmann (NLFB), A. Lotter (Universität Bern), B. Scharf (UFZ), E. Schulz (Universität Würzburg) und M. Sturm (EAWAG) organisiert. Wegen der dominierenden Aktivität der deutschen und schweizerischen Paläolimnologen auf dem Gebiet der jahreszeitlich feingeschichteten Seesedimente und deren zunehmenden Bedeutung – z. B. um klimarelevante

⁵⁰ Anhand verschiedener Indikatoren (u.a. Proxydaten) sind für diesen Zeitraum die folgenden Phasen deutlich voneinander zu unterscheiden: 80 Jahre ungestörte Entwicklung mit einer weiteren Zunahme der Prozentanteile von Buche und – weniger ausgeprägt – Weisstanne; 110 Jahre mit einer leichten Delle in der Buchen-Kurve und einer Abnahme des Weisstannen-Anteils, verursacht durch minimale anthropogene Störungen; 40 Jahre ungestörte Entwicklung; 40 Jahre Erholungsphase nach einer Naturkatastrophe; 30 Jahre mit – minimalen – anthropogenen Störungen (Weisstannen-Anteil nur noch sehr gering); 280 Jahre ungestörte Entwicklung; 60 Jahre mit sich abzeichnender, aufgrund der Begleitflora (signifikante Zunahme von Vernässungszeigern auf Kosten einschlägiger Waldarten) wahrscheinlich klimatisch bedingter Bestandesinstabilität (deutlich erhöhte Niederschlagsmengen).

⁵¹ Für diesen Zeitraum sind keinerlei Hinweise auf anthropogene Einwirkungen zu finden.

und anthropogene Ereignisse jahrgenau zu fassen – war das Hauptthema der Tagung «laminated sediments» ... Die Tagung machte deutlich, dass lakustrine Ablagerungen einzigartige Archive sind, die langfristige Effekte von lokalen, regionalen wie auch globalen Umweltveränderungen widerspiegeln. Sie umfassen Tausende von Jahren, die als hochaufgelöste Zeitreihen vorliegen, die z. T. kurzfristige – saisonale – Milieuveränderungen als Proxies speichern. Umfassende Untersuchungen von gewarvten Seeablagerungen liefern jahrgenaue Datierungen, Umwelt- und Klimarekonstruktionen. Aus solchen Studien werden realistische Daten und wichtige Werkzeuge für die Klima- und Umweltdiskussion gewonnen, mit denen die errechneten Klimamodelle geeicht werden müssen.»

Zitat aus dem Bericht zur anschliessenden Exkursion ins Faulenseemoos: «Das Faulenseemoos, ein klassischer Schweizer Fundpunkt für holozäne biochemische Warven, weist insgesamt 15 m mächtige spät- und postglaziale Seeablagerungen auf. Studien zur Vegetationsentwicklung und -dynamik, hochaufgelöste vegetationskundliche und geochemische Untersuchungen wie die Anwendung statistischer Verfahren sind erhoben worden.»

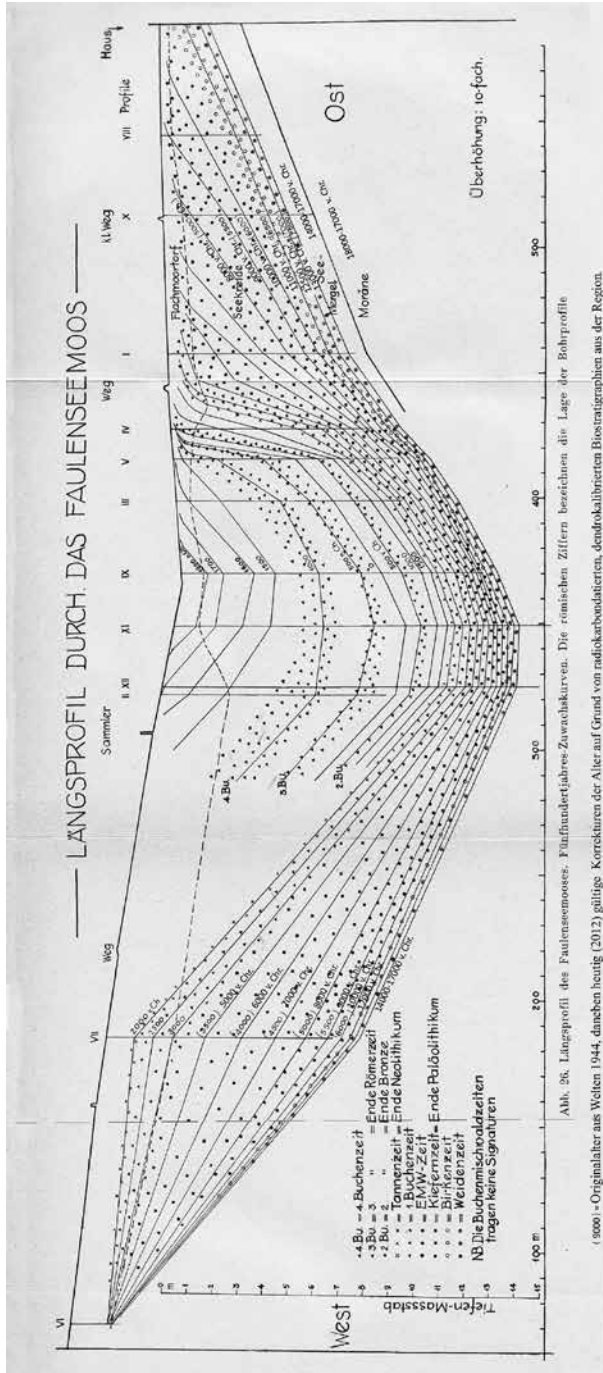
2.4 Neuere Trends: Molekulargenetische Methoden – DNA-Analysen

In jüngerer Zeit werden zur Beantwortung von speziellen paläoökologischen und phylogeographischen⁵² Fragen vermehrt molekulargenetische Methoden auf fossile DNA⁵³ angewendet. Die ersten Ergebnisse sind sehr viel versprechend, konnten doch für einzelne Baumarten (so etwa für Fichten und Eichen) mit dem Vergleich der Marker-Muster von fossiler und rezenter Chloroplasten-DNA nicht nur die während der letzten Eiszeit besiedelten Refugialräume, sondern auch die verschiedenen Wiedereinwanderungswege räumlich und zeitlich bestimmt werden. Natürlich sind solch umfangreiche Forschungsvorhaben nur dann zu realisieren, wenn interdisziplinär und international zusammengearbeitet wird und die Arbeitsgruppen gut miteinander vernetzt sind.

Bis heute ist das Faulenseemoos noch nicht Teil eines molekulargenetischen Forschungsprogramms.

⁵² Zeitliche und räumliche Erfassung der Wanderung von Arten.

⁵³ In Sedimenten mit gut konservierenden Eigenschaften ist sowohl in pflanzlichem als auch in tierischem Restmaterial stets fossile DNA vorhanden.



Das Längsprofil des Faulenseemoos, wie es von Max Welten rekonstruiert wurde, mit den an den aktuellen Wissensstand angepassten Jahrezahlen von Willy Tinner. An der Oberfläche sichtbarer Orientierungspunkt ist bis heute der betonierete Wassersammler. (Längsprofil des Faulenseemoos nach Welten, 1944, Jahrezahlen von Tinner.)

3 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die folgenden Punkte, die in den letzten beiden Unterkapiteln 2.1 und 2.2 angedeutet oder ausgeführt wurden, sind mir wichtig:

- sowohl bei der Gewinnung, der Vorbehandlung und der Aufbereitung des Probematerials als auch bei den pollenanalytischen Methoden wurden in den vergangenen Jahrzehnten wesentliche Fortschritte erzielt. In den meisten Fällen kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse aus jüngeren und jüngsten Untersuchungen deshalb verlässlicher sind
- die Entwicklung neuer, (noch) leistungsfähiger(er) Analysegeräte⁵⁴ ermöglicht ein Bestimmen zahlreicher umweltrelevanter, bisher nicht berücksichtigter Parameter mit relativ geringem Aufwand an Zeit und Material. Diese zusätzlichen Messgrößen fließen dann als Proxydaten in die Untersuchungsergebnisse und in die Modellrechnungen mit ein und erhöhen so deren Aussagekraft und Zuverlässigkeit
- in den vergangenen Jahren bauten verschiedene wissenschaftliche Organisationen und Forschergruppen thematische Datenbanken auf mit dem Ziel, die zunehmende Menge an umweltrelevanten Daten systematisch zu ordnen und einer interessierten Öffentlichkeit teils als freie, teils als passwortgeschützte Datenquellen zugänglich zu machen. Diese neuen Hilfsmittel machen – unter Berücksichtigung des Urheberrechts – einen regen, raschen Austausch ausgewählter Informationen möglich.

Nachtrag

Auf Anfrage der Jahrbuch-Redaktion gab Willy Tinner, Leiter der Abteilung Paläoökologie am Institut für Pflanzenwissenschaften und am Oeschgerzentrum der Universität Bern, eine Einschätzung zur aktuellen Bedeutung des Geoarchivs Faulenseemoos: «Das Faulenseemoos ist ein schweizweit einmaliges Klima- und Umweltarchiv und hat national und international für die Wissenschaft eine herausragende Bedeutung. Teile der bis über 14 m dicken Ablagerungen sind jahreszeitlich geschichtet (sogenannte Warven). Am Faulenseemoos gelangen im Jahr 1944 wichtige wissenschaftliche Durchbrüche (z.B. erster Nachweis biogener Warven in Europa, erste Berechnung von Polleninflux weltweit). Die Jahresschichtungen am Faulenseemoos zogen

⁵⁴ Auch bei der Verbesserung und Neuentwicklung von Analysegeräten ist seit Jahren eine Verkürzung der Innovationsintervalle festzustellen.



Forscherinnen und Forscher aus der Schweiz, Österreich, Deutschland, Irland, den Niederlanden, Norwegen und Russland besuchten an der 40. Internationalen Moorexkursion im September 2016 das Faulenseemoos, das durch die Arbeiten des Pioniers Max Welten allen ein Begriff ist. Sie bedauerten allerdings den Zustand des Moores, das unter wachsendem Nutzungsdruck steht. (Foto: Christoph Schwörer)

danach Folgeuntersuchungen an, auch weil Jahresschichtungen in natürlichen Archiven (Seen, Moore) sehr selten sind. Sie sind für die Klima- und Umweltforschung besonders wichtig, da sie es ermöglichen, vergangene Klima- und Umweltänderungen mit grösster Präzision zu rekonstruieren.»

Als Bedrohungen für das Geoarchiv nennt Prof. Tinner die moderne Landnutzung, den Strassenbau, das Gewerbe und die Industrie. So führte etwa die Entwässerung im 20. Jahrhundert und die damit verbundene Luftzufuhr zu einem zunehmendem Abbau der Sedimente. Zugleich konnten sich Bäume und Büsche auf dem ehemals offenen Mooregebiet ausbreiten, die dem Moor noch mehr Wasser entziehen, Sauerstoff in grössere Tiefe bringen und mit ihren Wurzeln die Warven durcheinander bringen und so zerstören. Zum Teil bis in grosse Tiefe zerstört wurden die Sedimente auch durch Pfähle und tiefe Fundamente neuer Gebäude. Und schliesslich wird das Archiv auch durch Parkplätze, Wege und die Strasse gefährdet, die Druck auf den Moorkörper ausüben.

Zum Schutz des unersetzlichen Klima- und Umweltarchivs Faulenseemoos vor weiterer Zerstörung empfiehlt Willy Tinner als einfachste Massnahme das Erhöhen des Grundwasserspiegels in der Senke, in der sich letzte Resten des Moors erhalten haben.

Dieses kleine Gebiet ist heute rechtsverbindlich geschützt (Baureglement, Art. 535, Abs. 8 und Inventarplan). Was es jetzt noch braucht, sind praktische Massnahmen für seine Erhaltung.

Literatur

Eicher U., Siegenthaler U. 1976: Palynological and oxygen isotope investigations on Late-Glacial sediment cores from Swiss lakes. *Boreas* 5, S. 109–117.

Eicher U. 1979: Die $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ - und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in spätglazialen Süsswasserkarbonaten und ihr Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pollenanalyse. – Diss. Bern, 203 S.

Eicher U. 1980: Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen. *Mitt. Naturforsch. Ges. Bern N.F.* 37, p. 65–80.

Früh J., Schröter C. 1904: Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. *Beitr. Geol. d. Schweiz, Geotechn. Ser.* 3, 751 S. [45 Abb., 4 Taf., 1 Moorkarte der Schweiz 1:530 000].

van der Knaap W.O., van Leeuwen J.F.N., Amman B. 2004: The first rise and fall of *Fagus sylvatica* and interaction with *Abies alba* at Faulenseemoos (Swiss Plateau) 6900–6000 cal yr BP. *Acta Palaeobot* 44:249–266

Landolt E. 1977: Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich, 64, 208 S.

Lotter A.F., Eicher U., Birks H.J.B., Siegenthaler U. 1992: Late-Glacial Climatic Oscillations as Recorded in Swiss Lake Sediments. *Journ. of Quaternary Research* 7, S. 187–204.

Lotter A.F., Amman B., Hajdas I., Sturm M., van Leeuwen J.F.N. 1996: Faulenseemoos Revisited: New Results from an Old site. *Pact* 50 – II.5, S. 133–144.

Nachrichten der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1998:
Jahresbericht 1997. Darin Bericht über das «7th International Symposium on Palaeolimnology» in Heiligkreuztal, S. 2.2–2.4.

Schütz M., Gelpke G., Winter D. 2000: Ausmagerung contra Oberbodenabtrag – Pflegemassnahmen in Naturschutzgebieten bei Kloten. *Inf.bl. Forsch.bereich Landsch.* 47, S. 1–4.

Wegmüller S., Welten M. 1973: Spätglaziale Bimstofflagen des Laacher Vulkanismus im Gebiet der westlichen Schweiz und der Dauphiné (F). *Eclogae geol. Helv.* 60 (3), S. 533–541.

Welten M. 1944: Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich*, 21, 201 S.

Welten M. 1982: Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern – Wallis. *Denkschr. Schweiz. Naturforsch. Ges.*, 95, 104 S und Diagrammheft. (mit einem neuen Pollenprofil vom Faulenseemoos)

Glossar

Alleröd

Warme Periode vor der letzten Kaltzeit (um 11 000 vor Christus)

AMS

Accelerator Mass Spectrometry, Beschleuniger-Massenspektrometrie: Methode zur Separierung und zur Bestimmung der Masse von Isotopen (unterschiedlichen Formen, in denen ein chemisches Element vorkommt). Trug dazu bei, dass heute auch sehr kleine organische Resten mit Hilfe der → Radiokarbonmethode datiert werden können.

biogen

durch [Tätigkeit von] Lebewesen entstanden, aus abgestorbenen Lebewesen gebildet

BP / yrBP

Before Present / years before present: Jahre vor heute. Radiokarbonjahre sind unkalibrierte Alter, welche vom Kalenderalter abweichen. Zum Beispiel entsprechen 5000 Jahre BP nicht 3000, sondern 3800 Jahre vor Christus. Um das richtige Alter, zum Beispiel von Sedimenten, zu bestimmen, müssen die unkalibrierten Radiokarbonalter (BP unkal.) mit Hilfe der Baumjahring-Chronologie in Kalenderdaten (oder kalibrierte Jahre vor heute, cal yrBP) umgerechnet werden. Dazu gibt es spezielle Tabellen und Programme.

Chronozonen

Erdgeschichtliche Zeiträume, die über physikalische Datierungsmethoden (zum Beispiel die → Radiokarbonmethode) eine genau festgelegte Zeitstellung haben.

Delta (δ)

Der kleine griechische Buchstabe Delta bezeichnet die Differenz zwischen zwei Werten (in mathematischen, physikalischen oder chemischen Formeln)

Dendrochronologie

Methode zur Altersbestimmung von Holzstücken. In gemäßigten Klimazonen verändern sich der Stoffwechsel, die Zellteilungsaktivität in der Wachstumszone des Stamms (Kambium) und damit auch Festigkeit und Farbe des Holzes mit den Jahreszeiten; so entstehen die Jahrringe mit ihrem Wechsel zwischen dem hellen, weichen Frühholz aus der Wachstumsphase und dem dunklen, harten Spätholz aus der Depositionsphase. Dazu kommt, dass Bäume in Jahren mit günstigen Bedingungen schneller wachsen als in Jahren, die ihnen zum Beispiel zu trocken oder zu kalt sind; weil sich die Abfolge von guten und schlechten Jahren nie genau gleich wiederholt, kann man die Zeit, in der ein Baum gewachsen ist, durch den Vergleich seines Jahrringmusters mit einem Jahrringkalender eindeutig identifizieren. (Siehe auch Standardchronologie)

DNA

Desoxyribonukleinsäure, Träger der Erbinformation im Zellkern

Gyttja

dunkler Halbfaulschlamm, der in nährstoffreichen Seen vor allem aus abgestorbenen Algen und anderen Kleinstlebewesen, Kot und Mineralpartikeln entsteht.

Isochronen

Linien, die das zeitgleiche Eintreten eines Ereignisses markieren.

Isotope

Unterschiedliche Formen, in denen ein chemisches Element vorkommt. Die verschiedenen Isotope eines Elements haben alle dieselbe Anzahl Protonen und Elektronen, aber unterschiedlich viele Neutronen. Deshalb unterscheiden sie sich nicht in den chemischen Eigenschaften, aber in der Masse; und oft sind die «schwereren» Varianten nicht stabil, sondern zerfallen mit der Zeit – wie etwa das ^{14}C , die radioaktive Kohlenstoff-Variante, die in der → Radiokarbonmethode für die Altersbestimmung verwendet wird.

Korrelation

Wechselbeziehung. Beziehung zwischen zwei oder mehreren Merkmalen, Ereignissen, Zuständen

Interpolation

Z.B. Lineare Interpolation. Zwei bekannte Datenpunkte werden linear verbunden. Die Werte auf der Linie sind die interpolierten Werte.

lakustrin

= limnisch. Bezeichnet Sedimente, die auf Süßwasserablagerung zurückgehen.

oligotroph

nährstoffarm

Palynologie

= Pollenanalyse. Die Palynologie untersucht Palynomorphe (Pollen, Sporen, andere Zellen).

Pollen

Blütenstaub. Körner in den Staubbeuteln der Blütenpflanzen, sie entsprechen der männlichen Keimzelle.

Pollendiagramm

Grafische Darstellung der Prozentwerte oder Häufigkeiten unterschiedlicher Pollentypen, die über die Jahre in einem Sediment abgelagert wurden. Ein Pollendiagramm kann als Entwicklung der Vegetation in der betreffenden Region interpretiert werden.

Polleninflux

Pollenmenge, die innerhalb eines Jahres pro Quadrat-Zentimeter abgelagert wurde.

Proxydaten

«Stellvertreterdaten», die nur indirekt – über bekannte Zusammenhänge – Hinweise auf bestimmte Messgrößen geben können.

Quartär

Die jüngste geologische Epoche, begann vor rund 2 Millionen Jahren, dauert bis heute an und ist charakterisiert durch starke Abkühlungen, die zu Eiszeiten führten; zwischen den Eiszeiten lagen verschiedene Warmzeiten (Interglaziale).

Radiokarbonmethode

auch ^{14}C -Methode/Kohlenstoff-14-Methode: Methode zur Altersbestimmung von organischem Material. In lebenden Organismen ist das Verhältnis zwischen «normalem» Kohlenstoff (^{12}C) und radioaktivem Kohlenstoff (^{14}C) konstant. Stirbt der Organismus, wird der zerfallende radioaktive Kohlenstoff nicht mehr ersetzt, und damit verändert sich das Mengenverhältnis zwischen den beiden Kohlenstoff-Isotopen (unterschiedlichen Formen von Kohlenstoff). ^{14}C