

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 37 (1980)

Artikel: Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen
Autor: Eicher, Ueli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-319613>

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: 02.05.2026

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

Ueli Eicher¹

**Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen
an spätglazialen Profilen vom Gerzensee,
Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen**

1. Einleitung

Das Erkennen und das Verstehen der Zusammenhänge, welche das Klima und damit auch die Lebensvorgänge auf der Erde bestimmen, ist zu einer vordringlichen Aufgabe unserer Zeit geworden. Die wissenschaftlichen Disziplinen, welche sich mit dieser Frage befassen, sind kaum mehr zu überblicken und werden immer noch zahlreicher. Zum vollständigeren Verständnis der aktuellen Verhältnisse trägt ebenfalls die historische Entwicklung bei.

Seit über fünfzig Jahren steht uns in der Pollenanalyse, zusammen mit der pflanzlichen und tierischen Makro- und Mikrorestanalyse, eine Methode zur Verfügung, welche Vegetations- und Faunenveränderungen und damit auch Klimaentwicklungen vergangener Zeiträume erhellt (Welten, 1979).

Die Methode der Palaeotemperaturanalyse vermittelt der Sauerstoffisotope ist weniger alt. Sie beruht auf der Bestimmung und Auswertung von temperaturbedingten Feinvariationen im $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnis hauptsächlich von Eis sowie Karbonatproben und setzt eine präzise Messtechnik voraus, die erst in den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts erreicht wurde (Urey, 1948).

In der vorliegenden Arbeit werden Pollen- und Sauerstoffisotopenanalysen, gewonnen an ein und denselben Bohrkernen dargestellt und einem kritischen Vergleich unterzogen. Die Seekreidprofile umfassen die Zeitspanne des Spätglazials sowie den Übergang ins Postglazial.

*2. Das Zustandekommen der $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse
in Seekreidesedimenten*

Vom Element Sauerstoff kennen wir die drei stabilen Isotope ^{18}O , ^{17}O und ^{16}O . Für unsere Untersuchungen betrachten wir allein das Isotopenverhältnis von ^{18}O zu ^{16}O . Der Sauerstoff ist an wichtigen Stoffkreisläufen auf der Erdoberfläche beteiligt, so im Wasser, dem CO_2 und dem Karbonat der Gesteine.

1 Adresse des Verfassers: U. Eicher, Systematisch-Geobotanisches Institut der Universität Bern, Altenbergrain 21, CH-3013 Bern

Es ist üblich, Isotopenkonzentrationen $R = [^{18}\text{O}] / [^{16}\text{O}]$ als relative Abweichung in Promillen von einem Standard anzugeben:

$$\delta \text{ }^{18}\text{O} = \frac{R(\text{Probe}) - R(\text{Standard})}{R(\text{Standard})} \times 1000 \text{ (Promille)}$$

In Wasser wird das ^{18}O heute meistens mit dem "Standard Mean Ocean Water = SMOW" verglichen (Craig, 1961). Bei Karbonat bezieht man sich für das ^{18}O auf den Standard PDB. Dabei handelt es sich um das Karbonat von *Belemnitella americana* aus der Peedeeformation in North Carolina, USA (Craig, 1957). Meerwasser und marines Karbonat weisen Werte nahe Null in der entsprechenden Skala auf.

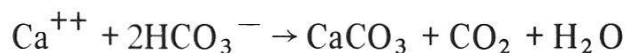
Während Verdunstungs- und Kondensationsprozessen verändert sich die ^{18}O -Konzentration des Wassers. Der Grund liegt im verschiedenen Dampfdruck der beiden Sauerstoffisotope. ^{18}O bevorzugt etwas stärker die flüssige Phase als ^{16}O . Dies führt bei jedem Phasenübergang zu einer temperaturabhängigen Fraktionierung. Zwischen dem $\delta \text{ }^{18}\text{O}$ der Niederschläge und dem des Meerwassers besteht demnach eine Abhängigkeit, die von den Phasenübergängen und den Temperaturen abhängt. Für Küstenstationen mit einer Jahrestemperatur unter 10°C fand Dansgaard (1964), dass die ^{18}O -Konzentration um 0,7 Promille zunimmt, wenn die mittlere Jahrestemperatur um 1°C ansteigt.

Bei kontinentalen Stationen besteht ebenfalls ein Zusammenhang zwischen dem Jahrestemperaturmittel und dem $\delta \text{ }^{18}\text{O}$ der Niederschläge. Die Verhältnisse sind hier jedoch unübersichtlicher, da die regenbringenden Feuchtluftmassen über dem Festland oft schwer abschätzbaren Beeinflussungen unterliegen. Es war bisher noch nicht möglich, diese Beziehungen befriedigend quantitativ zu erfassen.

Das $\delta \text{ }^{18}\text{O}$ in Grundwasser findet sich im allgemeinen in guter Übereinstimmung mit den Jahresmittelwerten in den Niederschlägen (Mook, 1970 sowie Siegenthaler und Schotterer, 1977). In einem See werden die Sauerstoffisotopenverhältnisse primär hauptsächlich durch das Zuflusswasser aus dem Einzugsgebiet bestimmt. Infolge Wasserverdunstung kann jedoch eine Anreicherung des ^{18}O im Seewasser stattfinden. Beim Gerzensee haben wir beispielsweise eine Anreicherung von 2 bis 3 Promille festgestellt.

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, dass die $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnisse in Niederschlägen und stehenden Gewässern in komplexer Art und Weise durch das Klima bestimmt werden und daher qualitativ mit der Temperatur korreliert sein müssen.

Während Fällungsreaktionen im Wasserkörper wird das Isotopenverhältnis im Karbonat fixiert und schliesslich im Sediment konserviert. Ein derartiger Prozess findet etwa statt, wenn die submersen Wasserpflanzen und das Phytoplankton dem See für die Photosynthese CO_2 entziehen. Calciumhydrogenkarbonat zerfällt dann nach der folgenden Gleichung:



In Form von Seekreide lagert sich das unlösliche Karbonat auf dem Gewässergrund ab. Bei diesem Ausfällungsprozess findet erneut eine Fraktionierung zwischen den Sauerstoffisotopen des Wassers und des Karbonates statt. Die ^{18}O -Konzentration nimmt im entstehenden Karbonat um 0,2 Promille ab, wenn die Wassertemperatur um 1°C ansteigt. Es sei hier darauf verwiesen, dass die Fraktionierung in bezug auf das Karbonat gerade umgekehrt verläuft, als bei der von Dansgaard gefundenen Beziehung in den Niederschlägen. Höhere Temperaturen entsprechen hier niedrigerem $\delta^{18}\text{O}$, währenddem dort höheren Temperaturen auch ein höheres $\delta^{18}\text{O}$ entspricht.

Für die Pollenanalyse wurden die Sedimentproben nach einem modifizierten Verfahren von Erdtman (1934 und 1936) aufbereitet. Bei den Profilen Faulenseemoos und Regenmoos handelt es sich um geraffte, vereinfachte Darstellungen von Originalen Prof. Weltens.

Zur Isotopenbestimmung wurden die Seekreideproben zuerst sorgfältig von organischen Beimengungen gereinigt und hernach unter Vakuum mit 95 prozentiger Phosphorsäure versetzt. Dabei bildet sich CO_2 -Gas, an welchem anschliessend das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Isotopenverhältnis massenspektrometrisch bestimmt werden kann.

Die ermittelten Isotopenwerte [$\delta^{18}\text{O}$ (Promille PDB)] wurden in unmittelbarer Nähe zum Hauptdiagramm ins Pollenprofil eingetragen und durch eine Linie miteinander verbunden. Es entsprechen stärker negative $\delta^{18}\text{O}$ -Werte kälteren Klimaabschnitten als weniger negative, die wir als aussagekräftig für klimatisch wärmere Zeitspannen betrachten.

Die Gliederung der Pollendiagramme wurde auf Grund der von Firbas (1949 und 1954) aufgestellten Pollenchronologie vorgenommen (Tab. 1). Wir haben versucht, unsere Diagramme mit den dort ausgeschiedenen Pollenzonen zu korrelieren. In einigen Fällen ist, wie noch ausgeführt werden wird, eine gute Grenzziehung mit Hilfe der Isotopenkurve möglich. Alle drei Diagramme beginnen in der Pollenzone Älteste Dryaszeit und enden im frühen Postglazial (Präboreal/Boreal), da dort die Seekreide durch organische Sedimente abgelöst wird. Es ist oft recht schwierig, für die Isotopenbestimmung brauchbare Seekreiden zu finden. So sind in den tieferen Profilschichten oft Sand und Ton beigemischt. Später treten vermehrt gyttjaartige organische Beimengungen dazu. Derartige Verunreinigungen können sich störend auf die Isotopenbestimmungen auswirken.

3. Lage und klimatische Verhältnisse der Objekte (Abb. 1)

Die Entstehung der drei seekreidebildenden Gewässer dürfte auf Rückzugsstadien des letzten grossen Würmvorstosses zurückzuführen sein.

Der Gerzensee, am Südfuss des Belpbergs gelegen, ist in Grundmoränenmaterial wohl hauptsächlich aus der Würmvergletscherung eingebettet. Infolge Verlandung so-

wie menschlicher Einflüsse ist der See im Laufe der Zeit stark eingeeignet worden. Die ihn umgebende Sumpf- und Tümpellandschaft wurde begradigt (Stuker, 1978).

Gespiesen wird der See heute hauptsächlich durch einen Zufluss im Norden, dazu kommen noch ein paar Brunnenläufe.

Die Bohrung zum vorliegenden Diagramm wurde am Ostufer des Seeleins vorgenommen, dort, wo eine kleine Landzunge in den See vorragt.

20 km SEE von Gerzensee, in einer kleinen Talrinne zwischen Spiez und Faulensee, findet sich unser zweites Objekt, das Faulenseemoos. Die kleine Talmulde wurde wohl durch Moränen des Aaregletschers gegen Faulensee hin abgeschlossen und ursprünglich zu einem kleinen See gestaut (Welten, 1944). In den Jahren 1918–1920 wurde das Moor trockengelegt, so dass heute nicht mehr viel davon zu sehen ist.

Tabelle 1: Übersicht über die mitteleuropäischen Pollenzonen nach Firbas (1949, 1954). Die besprochenen Profile umfassen die Pollenzonen Ia–V

Postglazial	X	Jüngeres Subatlantikum Gegenwart – etwa 950 B. P.
	IX	Älteres Subatlantikum etwa 950 – 2750
	VIII	Subboreal 2750 – etwa 4450
	VII	Jüngeres Atlantikum etwa 4450 – etwa 5950
	VI	Älteres Atlantikum etwa 5950 – 7450
	V	Boreal 7450 – 8950
	IV	Präboreal 8950 – 10 250
Spätglazial	III	Jüngere Dryaszeit 10 250 – 10 750
	II	Alleröd Interstadial 10 750 – 11 750 Laacher-Bimstuff 10 950
	Ic	Ältere Dryaszeit 11 750 – etwa 12 050
	Ib	Bölling Interstadial s. l. etwa 12 050 – etwa 13 250
	Ia	Älteste Dryaszeit 13 250 und älter

Auf Grund der topographischen Beschaffenheit der Umgebung schätzen wir das Einzugsgebiet des ursprünglichen Gewässers als gering ein, jedenfalls ist nicht anzunehmen, dass das Zuflusswasser aus wesentlich grösserer Höhe stammte.

Die Bohrung zum vorliegenden Profil wurde im unteren Teil des Moores, gegen Faulensee hin, durchgeführt.

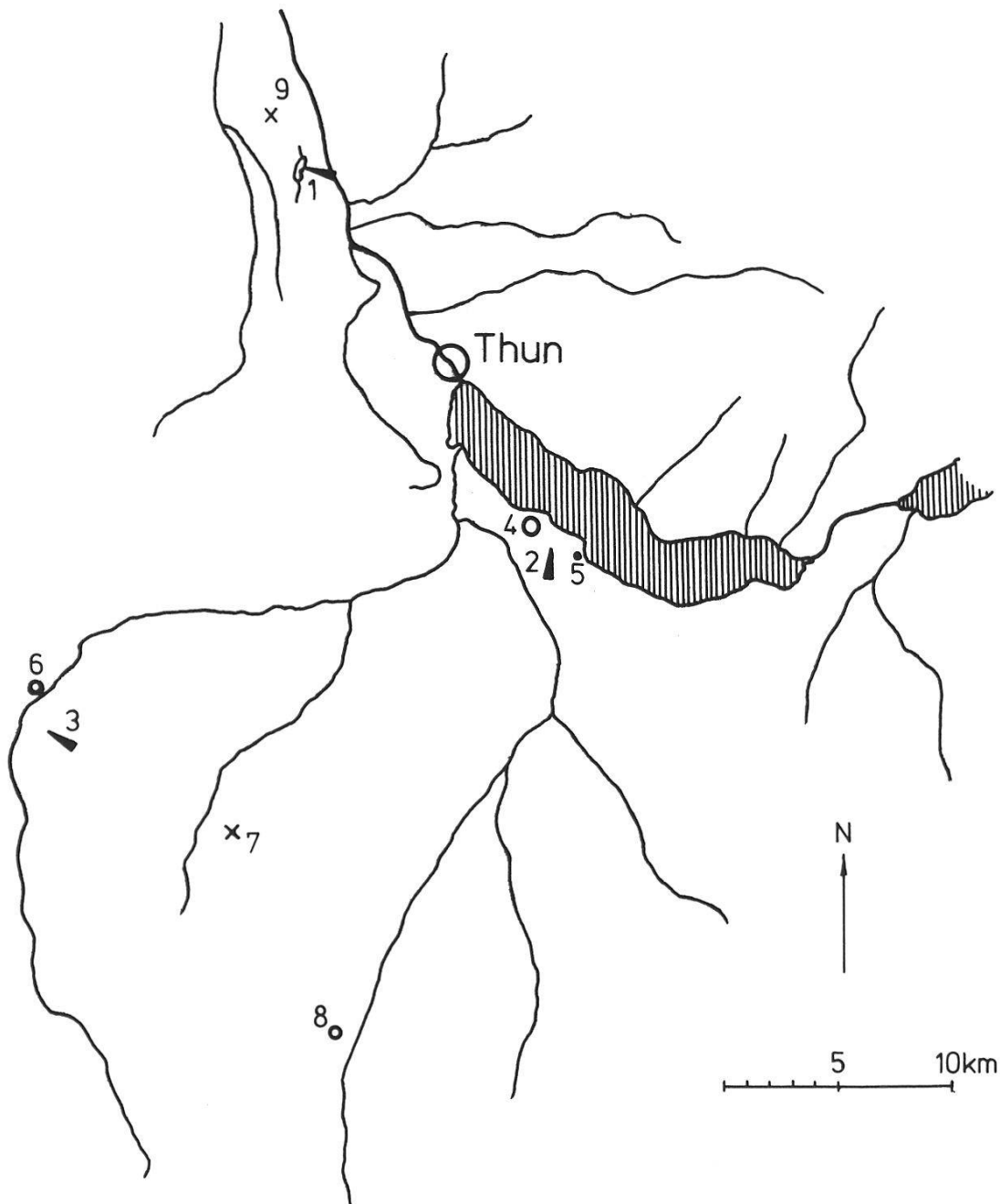


Abbildung 1: Lage der Objekte

- | | |
|-------------------------|-------------|
| 1 Gerzensee | 6 Boltigen |
| 2 Faulenseemoos | 7 Grimmialp |
| 3 Regenmoos ob Boltigen | 8 Adelboden |
| 4 Spiez | 9 Belpberg |
| 5 Faulensee | |

Das dritte Objekt liegt südlich von Boltigen, 1260 m ü. M. auf einer alten Flyschterrassenfläche des Simmentals. Die Höhendifferenz zu den beiden erstgenannten Standorten misst über 600 m. Das heute noch intakte Hochmoor findet sich in einer kleinen Mulde hinter der Fürerenfluh. Nördlich und südlich verlaufen Höhenzüge, deren Sickerwasser wohl das Moor speisen. Der östliche Teil der Mulde stellt ein gut entwickeltes Hochmoor dar, gegen Westen geht es sodann in ein fichtenbestandenes Flachmoor über (Welten, 1952).

Über die klimatischen Verhältnisse der drei Standorte besitzen wir keine direkten Angaben. Für Gerzensee und Faulenseemoos nennen wir die Daten einer Messstation bei Thun. Sie verzeichnet einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von 952 mm, das Jahrestemperaturmittel liegt bei $+8,3^{\circ}\text{C}$ und die durchschnittliche Zahl der Frosttage beträgt 92 pro Jahr. Für das jährliche Temperaturmittel vom Regenmoos seien vergleichsweise die Werte der Grimmialp (1214 m, im Diemtigtal) mit $5,7^{\circ}\text{C}$ und die für Adelboden (1340 m, im Engstligental) mit $5,4^{\circ}\text{C}$ genannt. Adelboden hat 193 Frosttage zu verzeichnen. Das Jahresmittel der Niederschläge dürfte beim Regenmoos knapp 1400 mm überschreiten. (Nach Uttinger, 1965 und Schüepp, 1960 sowie 1968.)

4. Besprechung der Diagramme (Abb. 2, 3 und 4; siehe Einlageblätter)

Wir verfolgen zuerst die Vegetationsentwicklung und den Verlauf der Isotopenkurve bei den Profilen Gerzensee und Faulenseemoos.

Die untersten Horizontabschnitte weisen hier nur geringe BP-Prozent-Werte auf (BP = Baumpollen). Nach dem Rückzug des Aaregletschers stellt sich zuerst eine lockere Pioniervegetation ein: Wermut, das Sonnenröschen, die Wiesenraute, Gänsefussgewächse, röhrige Korbblütler sowie auch Nelken- und Doldengewächse finden sich neben den Gräsern im Pollenspektrum. An Gehölzen nennen wir die Birke (Zwergbirke?), Weiden und später auch den Sanddorn. Vereinzelt wurde in beiden Profilen auch das Meerträubchen nachgewiesen. Der Föhrenpollen dürfte nach unseren heutigen Kenntnissen noch dem Fernflug zuzuschreiben sein. Die Pollenfrequenz der untersten Horizonte ist sehr gering. Vorerst ist der Boden wohl noch wenig verfestigt. Beträchtliche Mengen tonigen und sandigen Materials werden ins Seebecken eingeschwemmt. Eine Zunahme der Pollenfrequenz deutet daraufhin ein Dichterwerden des Vegetationsschlusses an. Ab 305 cm beim Profil Gerzensee und um 530 cm beim Faulenseemoos steigen die Gehölzpollenprozentwerte stark an. Auf ein kurzes Sedimentstück beschränkt spielt sich jetzt in rascher Folge eine vielfältige Vegetationsentwicklung ab. Die Wacholderprozentwerte steigen steil an und fallen gleich wieder ab, knapp gefolgt von einem kleinen Sanddorn Gipfel. Gleich darauf wird die Birke dominant (handelt es sich jetzt wohl um die Baumbirke?). Auch sie wird jedoch bald von der Föhre abgelöst. Die Föhrendominanz hält nun über einen längeren Sedimentabschnitt an, währenddem die Birken-Prozent-Werte langsam abnehmen. Mit den ansteigenden Baum-

pollenprozentwerten werden die Krautpollen zurückgedrängt, ohne jedoch zu verschwinden. Bemerkenswert erscheint uns ein erneuter Anstieg der NBP-Prozent-Werte (NBP = Nichtbaupollen) im Sedimentabschnitt der ausgeprägten Föhrendominanz (zwischen 220 cm und 160 cm beim Profil Gerzensee und zwischen 430 cm und 350 cm beim Profil Faulenseemoos). Vor allem der Wermut und bei Gerzensee auch die Wiesenraute treten nebst den Gräsern wieder vermehrt in Erscheinung. Gleich nach diesem Abschnitt nehmen die Föhren-Prozent-Werte ab und die Birke tritt mit einem kleinen Gipfel noch einmal vermehrt in Erscheinung (Gerzensee: um 130 cm, Faulenseemoos: um 310 cm). Nun beginnt sich das Vegetationsbild erneut stark zu ändern. Die Hasel erscheint und breitet sich stark aus, gleichzeitig treten wärmeliebende Gehölze wie Eiche, Ulme und Linde auf, die wir unter dem Begriff Eichenmischwald zusammengefasst haben. Die NBP-Prozent-Werte werden minimal. Dicht geschlossene Wälder dürften sich jetzt in der Umgebung der Gewässer ausgebreitet haben.

Wir erkennen demnach, dass die Vegetationsentwicklung bei beiden Profilen ähnlich verläuft. Das Profil Faulenseemoos zeichnet sich insgesamt durch eine etwas stärkere Vertretung der Birken-Prozent-Werte aus. Damit dürfte sich wohl die Ufernähe des Thunersees als bevorzugter Standort für dieses Gehölz abzeichnen.

Der Verlauf der Sauerstoffisotopenkurve erweitert unsere Vorstellungen über die klimatischen Verhältnisse. Es fallen die stark schwankenden Isotopenwerte im untersten Abschnitt des Profils Faulenseemoos auf. Ab 570 cm verläuft die Kurve dann gleichmässig, um 530 cm zeigt sie noch einmal recht niedrige Werte an. Dieser Kurvenverlauf ist durchaus mit der schon beschriebenen Entwicklung in Einklang zu bringen. Nach dem Gletscherrückzug mag im Gewässer noch keine nennenswerte biogene Karbonatfällung vorgekommen sein. Welten (1944) spricht von einem vegetationslosen oder vegetationsarmen Kaltwasserseelein. Die stark schwankenden $\delta^{18}\text{O}$ -Werte dürften daher hauptsächlich auf eingeschwemmtes Karbonat verschiedenen Ursprungs zurückzuführen sein. Wir stellen uns vor, dass auf Grund gebesserter klimatischer Verhältnisse und einer dichteren Vegetationsdecke um 570 cm eine merkbare biogene Karbonatproduktion bei abnehmenden Einschwemmungen beginnt. Damit erhalten die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erst oberhalb dieser Tiefe Klimainformationen.

Beim Profil Gerzensee findet sich kein unterster Abschnitt mit schwankenden Werten. Die Isotopenkurve setzt gleich über dem Moränenmaterial mit niedrigen Werten ein.

Der geringen BP-Prozent-Werte wegen muss für diesen untersten Abschnitt Baumlosigkeit angenommen werden. Die niedrigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zusammen mit den pollenanalytischen Befunden deuten auf ein kaltgetöntes Tundren- oder Steppenklima. Wir ordnen daher den Abschnitt der Pollenzone Älteste Dryaszeit zu.

Auf den Abschnitt mit den stark negativen Werten folgt recht unmittelbar ein steiler $\delta^{18}\text{O}$ -Anstieg von gut 3 Promille, bei Gerzensee mit dem Wacholderanstieg, bei Faulenseemoos mit dem Wacholdermaximum beginnend. Auf Grund dieser ausgeprägten Werteänderung, beschränkt auf ein Sedimentstück von weniger als 10 cm, schliessen wir auf eine relativ kurzfristige, kräftige und nachhaltige Erwärmung. Sie hat

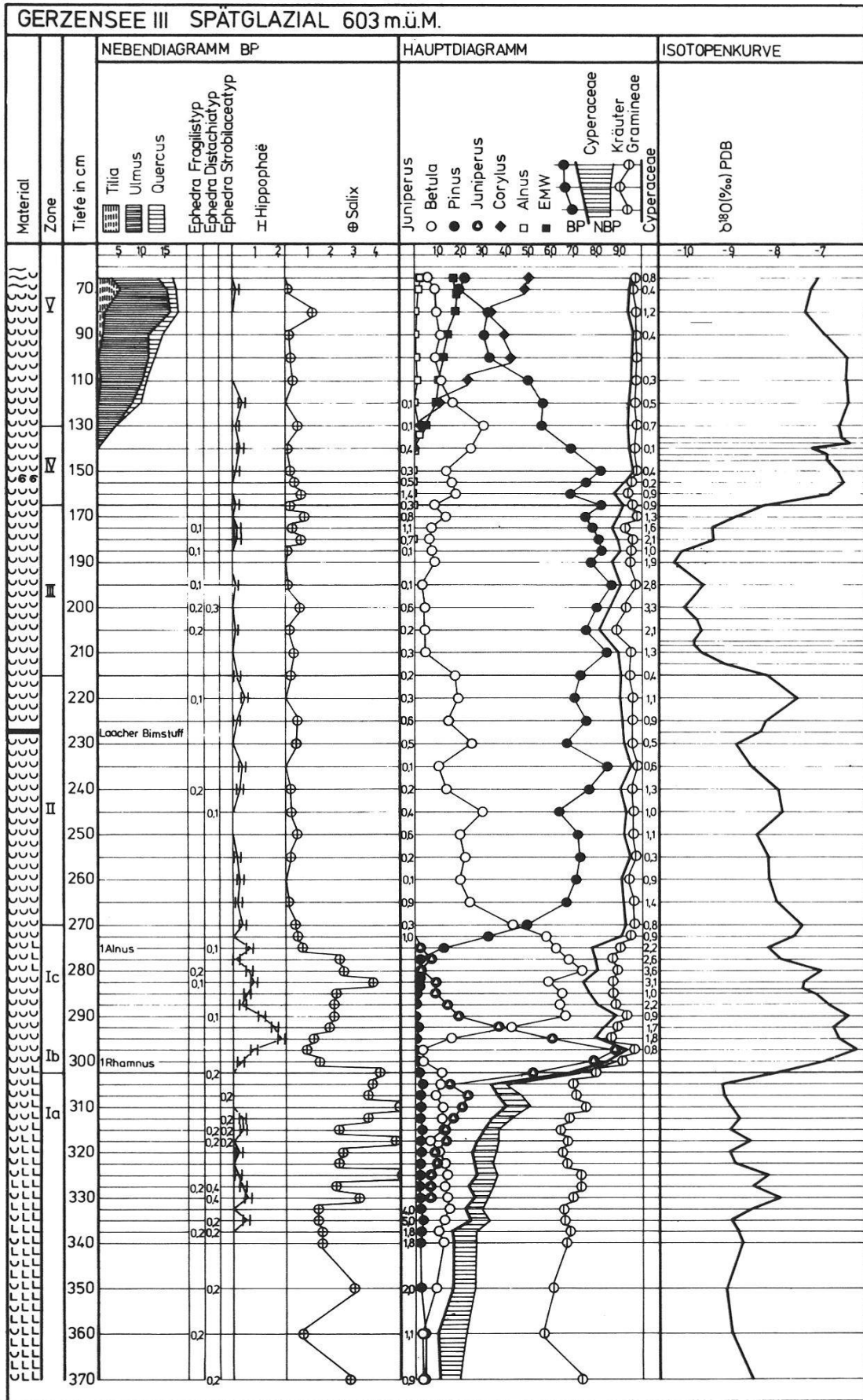


Abbildung 2

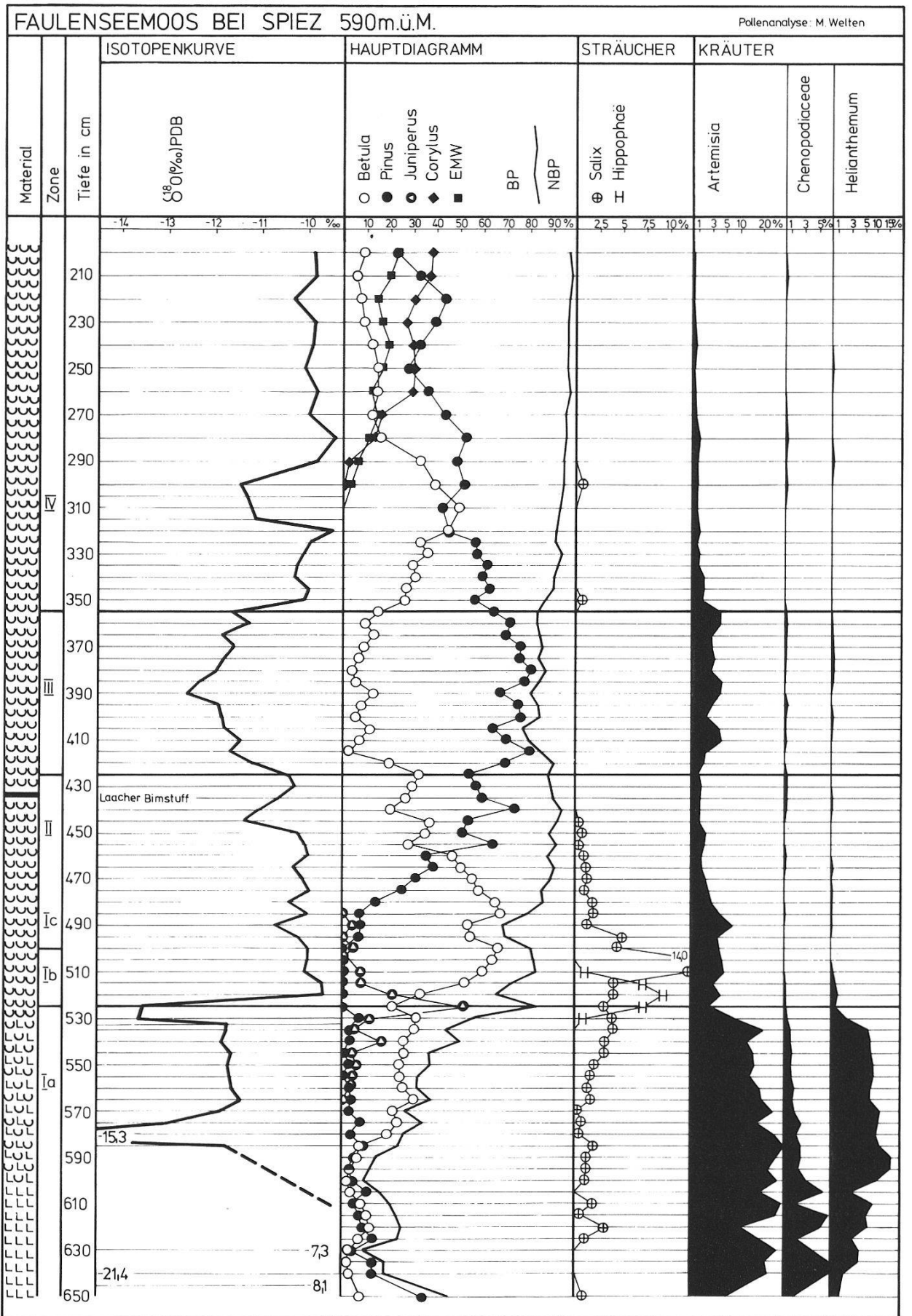
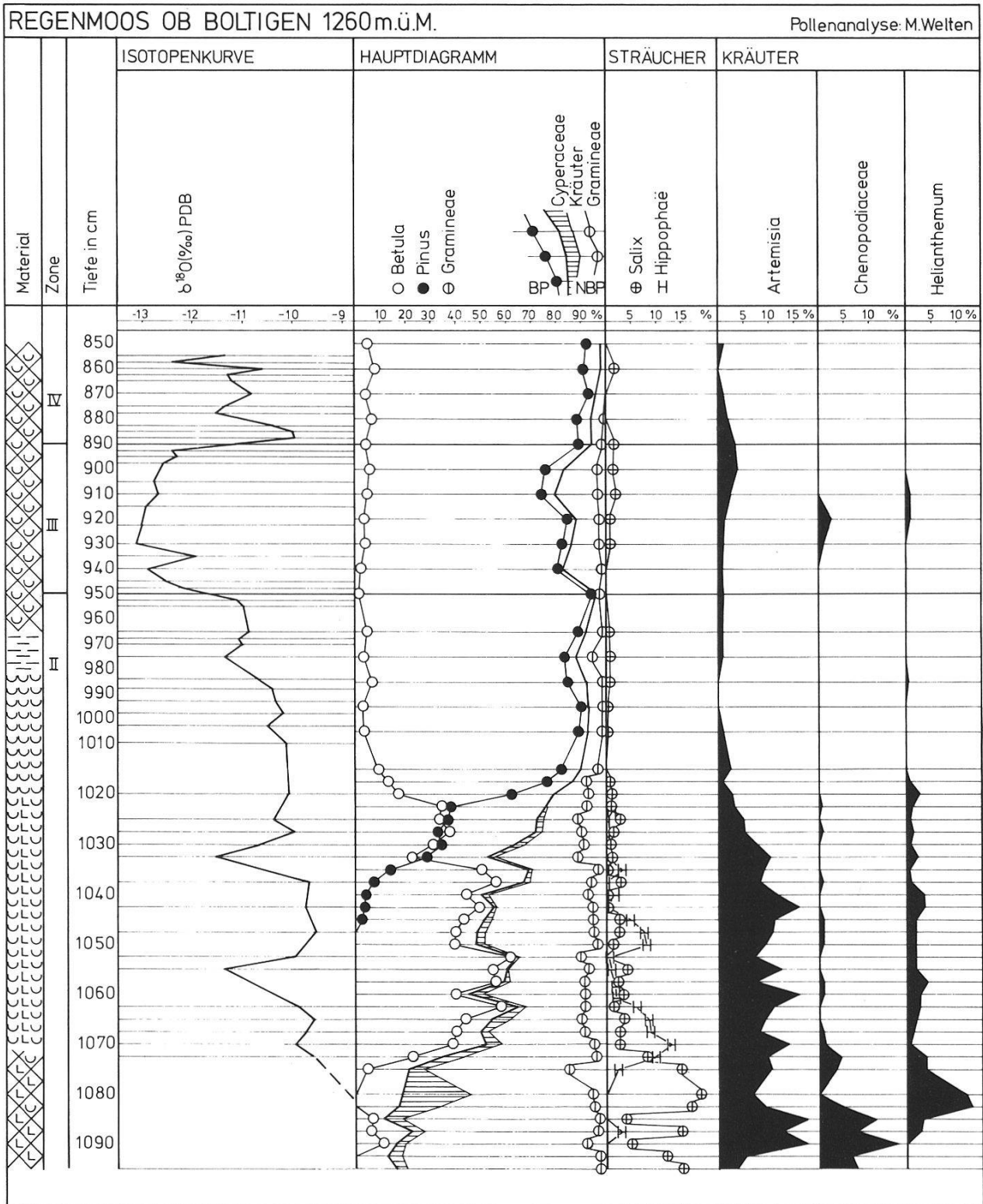


Abbildung 3



Abkürzungen und Signaturen

- EMW Eichenmischwald
- BP Baumpollen
- NBP Nichtbaumpollen

- Seekreide
- Ton
- zersetzter Flachmoortorf
- Hochmoortorf
- Gytja
- Muscheln und Schneckenschalen

Abbildung 4

sich offensichtlich zu Beginn der vielfältigen Vegetationsentwicklung abgespielt und darf wohl als Ursache der starken Zunahme der BP-Prozent-Werte betrachtet werden. Der Anstieg der Isotopenkurve trennt hier zwei deutlich verschiedene Bereiche, so dass wir die Kurve zur Abgrenzung der Pollenzonen Älteste Dryaszeit (Ia) und Böllinginterstadial (Ib) heranziehen.

Zwischen etwa 300 cm und 220 cm beim Profil Gerzensee bzw. 530 cm und 430 cm beim Profil Faulenseemoos weist die Isotopenkurve relativ hohe Werte und leicht fallende Tendenz auf. Pollenanalytisch betrachtet umfasst dieser Profilabschnitt die Zeit der Wiederbewaldung, welche hier mit einem Wacholdervorstoss eingeleitet wird, darauf folgt ein liches Birkenstadium, welches etwas später von der einwandernden Föhre abgelöst wird. Die Frage nach den Gründen für diese Vegetationsabfolge kann natürlich nicht mit dem Verlauf der $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve erklärt werden. Neben den klimatischen Einflüssen spielen dabei sicher auch Faktoren wie Wandergeschwindigkeit, Bodenbeschaffenheit und die Konkurrenzverhältnisse eine Rolle. Nach der Pollenzonenchronologie von Firbas (Abb. 2) umfasst der genannte Abschnitt die beiden klimagünstigen Zonen Böllig und Alleröd. Dazwischen liegt die kurze stadiale Phase Ältere Dryaszeit. Wo in diesem fortwährenden Vegetationswechsel die regressive Phase Ic zu finden ist, bleibt schwer zu entscheiden, da Pollendiagramm und Isotopenkurve nicht eindeutig miteinander reagieren. Es mag sein, dass eine Auflichtung in den Birkenbeständen um 280 cm bei Gerzensee, bzw. 495 cm bei Faulenseemoos das Stadiäl andeutet.

Im Verlauf der Isotopenkurve des besprochenen Abschnittes stellen wir bei beiden Profilen noch fünf kleinere Schwankungen fest. Ein Versuch, sie miteinander zu korrelieren, scheint uns indes zu gewagt. Ob es sich bei all diesen auch später auftretenden Feinvariationen um klimabedingte Ereignisse handelt, ist mehr als fraglich. Allerdings hat sich inzwischen an einem zahlreichen Untersuchungsmaterial gezeigt, dass wenigstens zum Teil auch weiträumige klimatische Ereignisse dafür verantwortlich sein dürften. So findet sich gegen das Ende des klimagünstigeren Abschnittes Allerödinterstadial ein deutlicher negativer Wertausschlag in der Isotopenkurve (Gerzensee: um 230 cm, Faulenseemoos: um 445 cm), welcher bisher in fast allen vom Autor untersuchten Profilen nachgewiesen werden konnte. Wir interpretieren daher diesen kurzen Abschnitt als stadiale Schwankung und bezeichnen sie als Gerzenseeschwankung.

In beiden Profilen konnte zudem gegen das Ende des allerödzeitlichen Abschnittes als Leithorizont der Laacher-Bimstuff nachgewiesen werden. Es handelt sich dabei um Aschenstaub eines Vulkanausbruchs in der Laachener Vulkaneifel. Das Ereignis wird mit etwa 11 000 BP datiert (Wegmüller und Welten, 1973).

Kurz nach diesem Leithorizont zeichnet sich im Isotopenkurvenverlauf beider Profile noch einmal eine ausgeprägt kältere Klimaphase ab. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte fallen rasch um 1 bis 2 Promille, bleiben über einen Sedimentabschnitt von 50 cm bei Gerzensee, bzw. 70 cm bei Faulenseemoos niedrig, um dann erneut steil anzusteigen. Pollenanalytisch zeichnet sich dieser Abschnitt durch eine Auflichtung der Föhren-Birkenbestände ab. Wir ordnen ihn daher dem letzten späteiszeitlichen Stadiäl, der Jüngeren

Dryaszeit zu. Zur Abgrenzung dieses Stadials kann wiederum die Isotopenkurve mit den ausgeprägten Werteänderungen herangezogen werden.

Den obersten Abschnitt rechnen wir dem Postglazial zu. Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind relativ hoch. Allerdings folgt, vor allem beim Profil Faulenseemoos, nach dem Werteanstieg noch einmal eine ausgeprägte Depression, für die wir bisher noch keine gute Erklärung gefunden haben. Im Pollenprofil deutet nichts auf eine klimatische Verschlechterung hin, im Gegenteil, mitten in den negativeren $\delta^{18}\text{O}$ -Werten setzt die Ausbreitung der Hasel und des Eichenmischwaldes ein. Das Profil Gerzensee weist an der entsprechenden Stelle nur eine geringfügige Schwankung auf. Die Grenze zwischen den Pollenzonen Präboreal und Boreal kann jedenfalls nicht nach dem Isotopenkurvenverlauf bestimmt werden. Vielleicht handelt es sich beim Auftreten der Hasel und der wärmeliebenden EMW-Arten nach dem kleinen Birkenmaximum mehr um eine wanderungsgeschichtlich bedingte Grenze, denn um ein ausgesprochen klimatisches Ereignis.

Wir brechen hier unsere Betrachtungen ab, weil das Sediment nun zunehmend organischer wird und da wir aus dem weiteren Postglazial noch zu wenig gesicherte Messresultate besitzen.

Die Ergebnisse der Profile von Gerzensee und Faulenseemoos sollen schliesslich mit dem Profil vom Regenmoos ob Boltigen verglichen werden. Bemerkenswert erscheint uns dabei der Umstand, dass dieses Moor, 1260 m ü. M., über 600 m höher gelegen ist, als die beiden anderen Objekte.

Der unterste Diagrammabschnitt stellt auch hier eine letzte Phase der waldlosen Zeit (Ia) dar. Es entsteht wieder das Bild einer Pioniervegetation mit Wermut, Gänsefussgewächsen und Sonnenröschen vor uns. Der noch lockere Rasen ist stellenweise durchsetzt von Weiden, Sanddorn- und Birkengebüsch.

Der Anstieg der Gehölzpollen-Prozent-Werte (zuerst der Birke und des Sanddorns) mag alsdann den Übergang zum Böllinginterstadial darstellen. Es folgen drei Birken Gipfel. Weide und Sanddorn bleiben mit abnehmenden Prozentwerten vertreten. Die NBP, insbesondere das Sonnenröschen und die Gänsefussgewächse nehmen ab, wogegen die Werte vom Wermut vorläufig noch unverändert hoch bleiben. Nach Welten (1952) finden wir in der Birkenzeit auf der Höhe des Regenmooses Waldgrenzverhältnisse. Etwa bei 1040 cm beginnt die Föhrenkurve anzusteigen, die Birken-Prozent-Werte fallen ab. Auch die NBP-Prozent-Werte gehen jetzt stark zurück. So dürften im Allerödinterstadial geschlossene Kiefernwälder in der Umgebung des Moorseeleins Fuss gefasst haben.

Zwischen 950 cm und 890 cm zeichnet sich dann noch einmal eine Auflichtung in den Föhrenbeständen ab und die Vertreter des Pionierasens breiten sich wieder vermehrt aus. Ein erneuter Anstieg der Föhrenkurve drängt darauf die NBP auf minimale Werte zurück.

Die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte sind im untersten Abschnitt entweder nicht bestimmbar oder dann sehr hoch (– 6,5 Promille bei 1150 cm, – 7,5 Promille bei 1195 cm). Der Karbonatgehalt des tonigen Sedimentes beträgt nur einige Prozent. Eine Sedimentation biogenen Karbonates hat in diesem Abschnitt offensichtlich noch nicht stattgefunden. Wir

vermissen ebenfalls den $\delta^{18}\text{O}$ -Werteanstieg, den wir bei den beiden vorangehenden Profilen zur Abgrenzung der Pollenzonen Ia und Ib heranziehen konnten. Es scheint, dass diese Klimabesserung auf 1260 m ü. M. notwendig war, um im Gewässer die Voraussetzungen für eine biogene Karbonatproduktion zu schaffen. Daher finden sich interpretierbare $\delta^{18}\text{O}$ -Werte erst nach der Klimabesserung. Wir setzen die Grenze zwischen den Zonen Älteste Dryaszeit/Böllinginterstadial somit auf Grund der pollenanalytischen Befunde mit dem Birkenanstieg, in der Meinung, dass sich hier der Baumbirkenvorstoss abzeichne, wie wir ihn von tiefer gelegenen Profilen her mit dem einsetzenden Böllinginterstadial kennen.

Wie in den beiden vorangehenden Profilen, verläuft die Isotopenkurve nachher wieder schwankend und mit fallender Tendenz. Die Abgrenzung des rückläufigen Abschnittes Ältere Dryaszeit will uns auch hier nicht gut gelingen. Vielleicht, dass er sich durch das $\delta^{18}\text{O}$ -Minimum zwischen 1037 cm und 1028 cm abzeichnet.

Der mit dem Anstieg der Föhren-Prozent-Werte ruhiger werdende Verlauf der Isotopenkurve deutet auf gleichmässige, ungestörtere Verhältnisse hin. Das um 975 cm sich abzeichnende Werteminimum lässt sich gut mit der als Gerzenseeschwankung bezeichneten Depression korrelieren.

Wiederum hebt sich das Stadial Jüngere Dryaszeit in der Isotopenkurve besonders schön ab. Die Werteunterschiede betragen 2 bis 3 Promille. Die Übergänge zwischen den Zonen II/III und III/IV stimmen recht genau mit den pollenanalytischen Ergebnissen überein, so dass dieses letzte späteiszeitliche Stadial auch hier sehr genau abgegrenzt werden kann.

Knapp nach dem Präborealanstieg fallen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte schwankend gegen das Profilende ab. Ob damit eine Abkühlung zum Ausdruck gebracht wird ist unklar, da sich im Pollenprofil, ähnlich wie bei den beiden anderen Profilen, kein entsprechender Hinweis findet.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden spätglaziale Pollenprofile vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen mit an denselben Bohrkernen gewonnen $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven verglichen. Die Pollenprofile geben uns Einblick in die Vegetationsabfolgen, sie sind weitmöglichst nach der Firbas'schen Pollenzonenchronologie gegliedert. Wir nehmen an, dass der Verlauf der $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven in weiten Zügen die grossräumigen klimatischen Verhältnisse des Spät- und frühen Postglazials wiedergeben. Die vergleichende Diskussion von Pollenprofil und Isotopenkurve kann zu vertieften Einsichten führen. Unsere Untersuchungen zeitigten die folgenden hauptsächlichsten Resultate:

$\delta^{18}\text{O}$ -Kurven, gewonnen aus biogenen Sedimenten, bestätigen und ergänzen die pollenanalytischen Befunde weitgehend. Insbesondere können sie zur Abgrenzung der Zonenübergänge Ia/Ib (ohne Regenmoos), II/III und III/IV herangezogen werden.

In der Ältesten Dryaszeit setzen die Isotopenkurven von Gerzensee und Faulenseemoos mit relativ niedrigen Werten ein. Der stark schwankende Verlauf im untersten Diagrammabschnitt vom Faulenseemoos dürfte durch eingeschwemmtes Karbonat hervorgerufen sein. Das Pollendiagramm lässt auf Waldlosigkeit schliessen. Die Zunahme der BP-Prozent-Werte und der steile Anstieg bei der $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve deuten hierauf eine ausgeprägte klimatische Besserung an. Auf Grund der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte interpretieren wir die Pollenzonen Ib, Ic und II als zusammenhängenden, günstigeren Klimakomplex. Er ist gegliedert durch kleinere Isotopenschwankungen, die oft schwer zu interpretieren sind. Kurz vor dem ausgeprägten Werteabfall zur Jüngeren Dryaszeit hin findet sich jedoch eine kleinere, deutlich abgesetzte Depression im $\delta^{18}\text{O}$ -Kurvenverlauf, die wir als Gerzenseeschwankung bezeichnet haben. Die Jüngere Dryaszeit hebt sich vor allem im Isotopenkurvenverlauf von den beiden angrenzenden Pollenzonen Alleröd und Präboreal durch deutlich negativere Werte ab. Im Postglazial verläuft die $\delta^{18}\text{O}$ -Kurve nicht mehr einheitlich. Die Frage nach einer möglichen stadialen Schwankung im Präboreal bleibt vorläufig ungeklärt.

Verdankungen

Die Pollenprofile Faulenseemoos sowie Regenmoos ob Boltigen stammen von Herrn Prof. M. Welten, er hat mir ebenfalls die Sedimentproben für die Isotopenbestimmungen zur Verfügung gestellt. Dafür, wie auch für seine Unterstützung, die er meinen Arbeiten angedeihen liess, möchte ich ihm meinen besten Dank aussprechen.

Danken möchte ich ebenfalls Herrn Prof. H. Oeschger und Herrn Dr. U. Siegenthaler für die anregenden Diskussionen, sowie Herrn Kurt Hänni, der die CO_2 -Proben mit grosser Sorgfalt am Massenspektrometer gemessen hat.

Literaturverzeichnis

- CRAIG, H. 1957: Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. — *Geochim. Cosmochim. Acta* Vol. 12, 133–149. Pergamon Press.
- 1961: Standard for reporting concentrations of deuterium and ^{18}O in natural waters. — *Science* 133, 1833/4.
- DANSGAARD, W. 1964: Stable isotopes in precipitations. — *Tellus* 16, 436.
- ERDTMAN, G. 1934: Über die Verwendung von Essigsäureanhydrid bei Pollenuntersuchungen. — *Svensk. Bot. Tidskrift*, 28.
- 1936: New methods in pollen analysis. — *Svensk. Bot. Tidskrift*, 30.
- FIRBAS, F. 1949: Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. — *Jena I*, 1–480.
- 1954: Die Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme. — *Danmarks Geol. Undersøgelse II*, Raekke, 80, 12–21.

- MOOK, W. G. 1970: Stable carbon and oxygen isotopes of natural waters in the Netherlands. – Thesis, Rijksuniversiteit te Groningen.
- SCHUEPP, M. 1960 und 1968: Klimatologie der Schweiz: Lufttemperatur, C 1., sowie 5.–8. Teil. – Schw. Meteorolog. Zentralanstalt, Zürich.
- SIEGENTHALER, U. und SCHOTTERER, U. 1977: Hydrologische Anwendungen von Isotopenmessungen in der Schweiz. – Schw. Monatszeitschrift für Gasversorgung und Siedlungswasserwirtschaft, Nr. 7.
- STUKER, J. 1978: 750 Jahre Gerzensee. – Stämpfli & Cie. AG, Bern.
- UREY, H. C. 1948: Oxygen isotopes in nature and in the laboratory. – Science, 108, 489–496.
- UTTINGER, H. 1965: Klimatologie der Schweiz: Niederschlag, E 1.–3. Teil. – Schw. Meteorolog. Zentralanstalt, Zürich.
- WEGMÜLLER, S. und WELTEN, M. 1973: Spätglaziale Bimstufungen des Laacher-Vulkanismus im Gebiet der westlichen Schweiz und der Dauphiné (F). – Ecologiae geol. Helv. 66/3. 533–541.
- WELTEN, M. 1944: Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Bern, 21, 1–201.
- 1952: Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Simmentals. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel, Bern, 26, 1–135.
- 1979: Eis, Wasser und Mensch haben das Aaretal verändert. – Mitt. Naturf. Ges. Bern. Neue Folge, 36. Bd.