



Abb. 1: Seebachtal mit Blick auf die Hochalm-Ankogel-Gruppe. Im verbreiterten Talaustritt des glazialgeologisch überformten Trogtals liegt der Stappitzer See in einer Meereshöhe von 1250 m. Foto: A. Fritz.

BEITRAG ZUR KLIMAGESCHICHTE AN DER SÜDSEITE DER ÖSTLICHEN HOHEN TAUERN

Pollendiagramm Stappitzer See und Huminstoffe als Klimazeugen

Adolf Fritz

ABSTRACT

Results of pollen and glacial-geological investigations obtained from the Stappitzer lake in the Seebach valley of the southern Hohe Tauern in Carinthia are presented. The pollen-analytical investigation of the 160 m deep sediment profile allows a reconstruction of the vegetational and climatological history dating perhaps back to 18,000 years before present. This enables to take a view into the melting phase of the Alpine ice sheet prior to the lateglacial pollenzone Ia. The climatic changes are not only documented by the pollen study, but also by the response of the glacier, the tongue of which reached beyond the Stappitzer lake toward Mallnitz which led to numerous morains and various sedimentary deposits.

VORWORT

Die pollenanalytische Untersuchung der talfüllenden Sedimente im Seebachtal bei Mallnitz (Hohe Tauern) hebt sich durch einige herausragende Merkmale deutlich von allen anderen derartigen Moor- und Seeuntersuchungen in Kärnten ab. Allein schon die Gesamtmächtigkeit des Sedimentes von 160 m, das zudem als Kernbohrung vorliegt, ist ungewöhnlich und garantiert die Erschließung einer weit in die Vergangenheit zurückreichenden Vegetations- und Klimageschichte an der Südseite der östlichen Hohen Tauern. Dazu kommt, dass die Pollen- und Sporenüberlieferung lückenlos bis in die Zeit des abschmelzenden Würmeises zurückreicht,

wobei das Sediment ab der Tiefe von –118 m aufwärts als feinkörnige mineralische Stillwasserablagerung vorliegt. Das hat den Anstoß dazu gegeben, das Sediment auf die Huminstoffeinlagerung (als temperaturabhängige Abbauprodukte der Biomasse) mittels photometrischer Extinktionsmessung zu bestimmen und in die paläoklimatologische Deutung der Klimageschichte einzubeziehen. Schließlich sei noch vermerkt, dass bis in eine Tiefe von –55 m reichliche Holzreste erbohrt wurden, sodass zahlreiche radiometrische Altersbestimmungen zurück bis in die Zeit des beginnenden Postglazials vorliegen.

Meinem Studienfreund Dr. Kurt Jaksch, Glazialgeologe und Biostratigraph, danke ich für die Durchsicht des Manuskriptes sowie für wertvolle Hinweise. Frau Helga Mühlbacher, Landesmuseum Kärnten, gebührt mein besonderer Dank für die Computer-Bearbeitung der Abbildungen.

EINLEITUNG

Der Stappitzer See (Abb. 1) liegt im verbreiterten Talausgang des hochalpinen, glazial überprägten Seebachtales in einer Meereshöhe von 1250 m NN (SCHULZ 2004). Das Seebachtal ist ein an der Südabdachung der Hohen Tauern im Wesentlichen Ost-West verlaufendes Seitental, das vom Mölltal aus (Obervellach) über Mallnitz erreichbar ist (Abb. 2). Die pollenanalytisch-glazialgeologischen Untersuchungen der talfüllenden Sedimente wurden im Verlandungsgebiet des Sees erbohrt. Die Bewahrung von See und Hochtal in seiner natürlichen Gestalt ist einer Bürgerinitiative zu verdanken,



Abb. 2: Geographische Lage des Seebachtals bei Mallnitz, Hohe Tauern, Kärnten, Österreich. Zeichnung: H. Mühlbacher.

welcher es gelang, ein geplantes Projekt der ehemals Österreichischen Draukraftwerke AG zu verhindern. Doch die in den Jahren 1979/81 im Verlandungsgebiet des Stappitzer Sees bereits vorgenommenen Erkundungsbohrungen bis in eine Tiefe von -96 m gaben den Anstoß zur vorliegenden pollenanalytisch/glazialgeologischen Auswertung der Bohrkern. Die Ergebnisse sind in den „Wissenschaftlichen Mitteilungen aus dem Nationalpark Hohe Tauern“ veröffentlicht (FRITZ & UČEK 2001). Das positive Ergebnis der pollenanalytischen Voruntersuchung veranlasste den Wissenschaftlichen Beirat des Nationalparks Hohe Tauern in Mallnitz, eine ergänzende Kernbohrung anzusetzen, in der Hoffnung, mit einer geplanten Bohrtiefe von -160 m den anstehenden Fels zu erreichen, was allerdings nicht gelang.

Die beiden Kernbohrungen (Abb. 3) mit 96 m (Sta 1) und mit 160 m (Sta 5) Tiefe bilden die Grundlage der vorliegenden

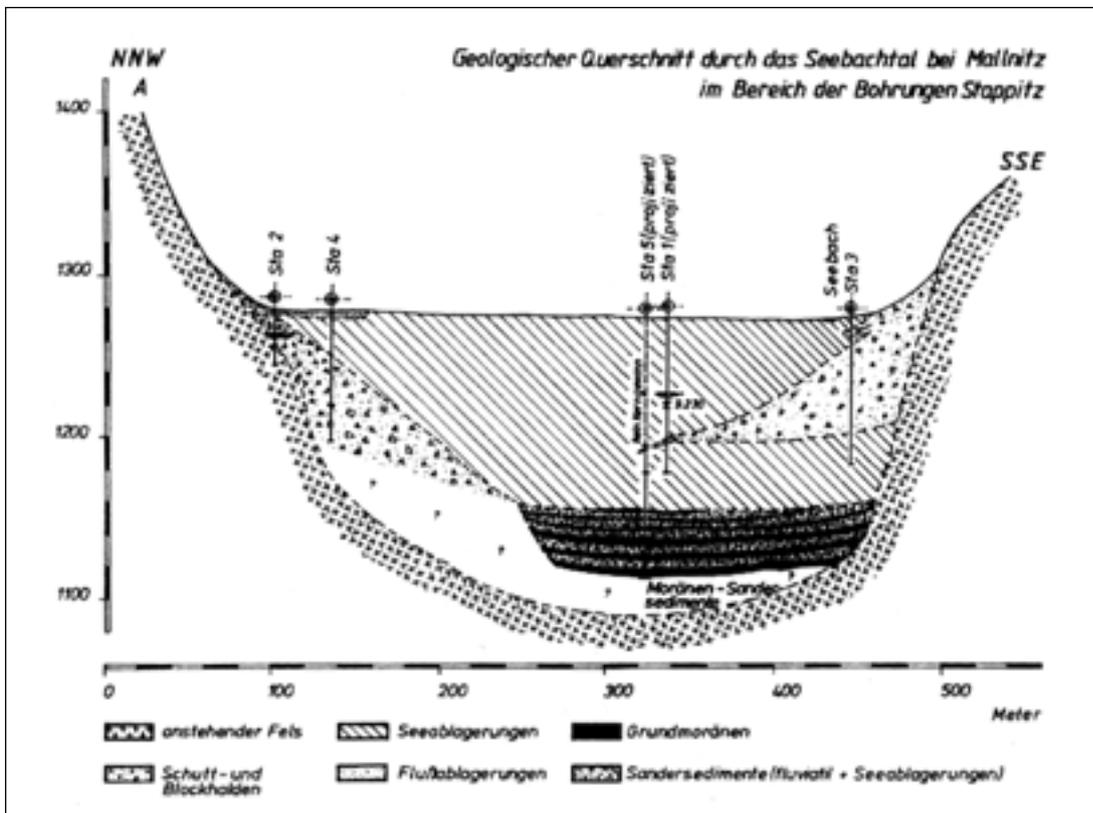


Abb. 3: Geologischer Querschnitt durch das Seebachtal im Bereich des Stappitzer Sees. Zeichnung: H. Mühlbacher.

gestrafften Rekonstruktion der Vegetations- und Klimageschichte an der Südseite der östlichen Hohen Tauern. Das Ziel der Untersuchung gipfelt wesentlich in der Frage, in welchen Schritten das Seebachtal nach dem Eisfreiwerden durch den heute vorherrschenden obermontanen Fichten-Lärchenwald bestockt wurde.

DAS TALFÜLLENDE SEDIMENT IM VERLANDUNGSGEBIET DES STAPPITZER SEES

Das im Verlandungsgebiet des Stappitzer Sees in einer Gesamtmächtigkeit von 160 m erbohrte Sediment besteht aus zwei mächtigen Sedimentserien, welche unter verschiedenen Bedingungen abgelagert wurden. Ab der Tiefe von –160 m aufwärts bis –118 m liegt ein glazialer Sedimentkomplex mit wiederholt auftretenden Moränen-, Sander- und Sanderseeablagerungen vor (Abb. 4). Dieser mehrfache Wechsel im glazialen Sedimentkomplex deutet auf den Eishalt eines Talgletschers mit oszillierender Bewegung der Gletscherzunge hin und damit auf einen bereits weit fortgeschrittenen Abschmelzprozess des Würmeises an der Südseite der östlichen Hohen Tauern. Dem glazialen Sedimentkomplex liegen schluffig-feinsandige Sedimente eines Stillwasserbereiches mit markanten Schwankungen des Feinkornanteiles als Ausdruck wechselhafter Niederschlagsverhältnisse auf. Ab der Tiefe von –14,5 m aufwärts wird das Stillwassersediment zunächst von feinsandigen



Abb. 4: Bohrkern aus der Bohrung STA-5 (Stappit-5), Meter 138–148: Typisches Grundmoränenmaterial, der Kiesanteil ist auf den ersten Blick kaum zu erkennen. Foto: F. H. Uciik, 18.11.1999.

und in weiterer Folge von grobsandig-kiesigen Einschüttungen eines etwas stärker bewegten Wassers abgelöst. Diese gröberen Sedimenteinschüttungen führten schließlich zu einer weitgehenden sedimentären Verlandung des ehemals wesentlich großflächigeren Stappitzer Sees.

DAS ALTER DER ERBOHRTEN SEDIMENTE

Radiometrische Datierungen sowie glazialgeologische und pollenstratigraphische Überlegungen ermöglichen durchaus grundsätzliche Aussagen über das Alter der talfüllenden Sedimente des Seebachtales. Die radiometrische Datierung einer zu tiefst bei –55 m aufgefundenen Holzprobe ergab ein kalibriertes Alter von 8.740 bis (92,5 %) 8.530 v. Chr. (FRITZ & UCIK 2001, S. 42). Diese Datierung verweist den ältesten holzführenden Horizont klimageschichtlich in das noch sehr frühe Postglazial. Beachtet man das Faktum, dass der radiometrisch datierte Horizont noch von 63 m Seesediment und weiters noch von 42 m glazialen Ablagerungen unterlagert ist, so kann man damit rechnen, dass die erbohrten Sedimente bis in das ausgehende Hochglazial zurückreichen. Dafür spricht auch der glazialgeologische Befund des lokalen Talgletschers im Seebachtal, der einerseits den eingetretenen Zerfall des alpinen Eisstromnetzes dokumentiert und andererseits mit den oszillierend sich zurückziehenden Bewegungen der Gletscherzunge das Ende der Eiszerfallsphase andeutet. Aufgrund des gut datierten Tagliamento-Gletschers ist es wahrscheinlich, dass der Zerfall des alpinen Eisstromnetzes etwa um 21.000 v. H. einsetzte (MONEGATO et al. 2007). Nach einer Lumineszenzdatierung dürfte sich weiters die „Eiszerfallsphase“ relativ rasch zwischen 21.000 und 19.000 v. H. vollzogen haben (REITNER 2011, S. 85). Auf die Wahrscheinlichkeit eines raschen kollapsartigen Zerfalls des alpinen Eisstromnetzes hat übrigens schon der Autor aufgrund der radiometrischen Datierung einer Torfprobe aus dem Lengholzer Moor im oberen Drautal mit 16.615 ± 210 Jahre v. H. aufmerksam gemacht (FRITZ 1978 S. 221). Im Sinne der Pollenstratigraphie gehört der unterste Sedimentkomplex von –160 m bis –113 m dem ausgehenden Hochglazial, von –113 m bis

–60 m dem Spätglazial und ab –60 m aufwärts dem Postglazial an. Auch wenn für die zu tiefst liegenden hochglazialen Sedimente kein konkretes Kalenderalter angegeben werden kann, so ist die zeitliche Zuordnung nach den erwähnten Befunden doch weitgehend eingeeengt und verweist auf das 17. bis 18. Jahrtausend v. H.

DIE FOSSILE/SUBFOSSILE POLLEN- UND SPORENÜBERLIEFERUNG

Das Seebachtal ist ein weitgehend abgeschirmtes Seitental der südlichen Hohen Tauern. Man kann daher davon ausgehen, dass die fossilen Pollenkörner und Sporen fast zur Gänze aus der lokalen Vegetation stammen und damit zunächst einen Einblick in die örtlichen Vegetations- und Klimaverhältnisse vermitteln. Daneben treten aber immer wieder auch Pollenkörner auf, die durch Einwehung aus der näheren oder weiteren Umgebung sich dem lokalen Pollensediment beigemischt haben. Es sind durchwegs Pollentypen ökologisch anspruchsvoller Gehölze. Diese „Fremdlinge“ in der Pollenflora sind aber insofern von Bedeutung, als man aus ihnen Klimaveränderungen ablesen kann, die sich in der lokalen Vegetation weniger deutlich ausprägen. In Anbetracht des 160 m langen Bohrprofils wurden die Sedimentproben für die pollenanalytische Untersuchung in Abständen von 50 cm, und nicht wie sonst üblich in Abständen von 5 bis 10 cm, den Bohrkernen entnommen. Zudem war es notwendig, von etwa –80 m abwärts die Probenmengen gegenüber der herkömmlichen Menge von 1 cm³ zu vervielfachen, um statistisch auswertbare Pollenanreicherungen zu erzielen. Insgesamt wurden 163.800 Pollenkörner bestimmt, die sich auf 120 Pollentypen verteilten. Außerdem konnten 27 unterschiedliche Sporentypen unterschieden werden. Einzelheiten über die Arbeiten im Labor und am Mikroskop bzw. über die Erstellung des Pollendiagramms findet man in FRITZ & UČEK (2001, S. 26–28).

VEGETATION UND KLIMA

IM AUSGEHENDEN HOCHGLAZIAL

(Entsprechend den Bohrtiefen von –160 m bis –113 m, Abb. 5)

Die Pollen- und Sporenüberlieferung an der Bohrstelle beginnt von –160 m bis –144,5 m mit einer Vergesellschaftung von Pollentypen, welche auf baumlose, vegetationsoffene Verhältnisse einer gräser- und kräuterreichen *Artemisia*-Steppe im Wechsel mit wiederholt stärker sich ausbreitenden Beständen einer strauchförmigen Birke (*Betula nana?*) hinweist.

Die klimatisch aufschlussreichen Kräuterpollentypen gehören ökologischen Sippen an, welche einerseits auf kaltzeitliche Verhältnisse (*Artemisia*, Brassicaceae, Chenopodiaceae, *Plantago alpina*-Typ) und andererseits auf geringe Niederschläge verweisen (*Artemisia*, Poaceae, Apiaceae, Asteroideae). Auf der Talsohle des Seebachtals lagerte zu dieser Zeit noch ein Gletscher, welcher sich in dieser Vegetationsphase vorübergehend aus dem verbreiteten Talaustritt zurückgezogen hatte, um einem Sandersee Platz zu machen. Dieses klimatische „Intermezzo“, welches aus der Landvegetation kaum ersichtlich wird, hat im Sandersee eine Wasservegetation aufkommen lassen, die durch den Pollenfund der Weißen Seerose (*Nymphaea alba*) und mehrerer Pollenkörner des Igelkolbens (*Sparganium*-Typ) belegt ist. Im Sinne von ZOLLER (1987, S. 129) spricht das Vorkommen von klimatisch anspruchsvollen Wasserpflanzen für eine mittlere Julitemperatur von mindestens 12–13 °C oder mehr. Das würde bedeuten, dass die Sommertemperatur zu dieser Zeit des Hochglazials sich der gegenwärtigen Sommertemperatur von Mallnitz mit 14,6 °C bereits stark genähert hatte. Ein Insektenfund aus der Ordnung Thysanoptera (Fransenflügler) im Sediment dieses Sandersees erlaubt einen bemerkenswerten Einblick in die sommerlichen Witterungsverhältnisse zu dieser Zeit. Diese sehr kleinen, meist nur 1–2 mm langen Tiere, die häufig auf Blüten, aber auch in Pflanzen, unter Borke im Detritus und an ähnlichen Orten sich aufhalten, schwärmen (in großer Menge) nur an warmen bis schwülen Sommertagen („Gewitterwürmchen“). Es ist anzunehmen, dass

im Zuge eines derartigen Ereignisses das aufgefundene Exemplar auf die Wasseroberfläche des Sandersees stürzte und damit im Sediment zur Einbettung gelangte. Für die besondere Klimagunst zu dieser Zeit sprechen übrigens auch die Huminstoffe im Sediment des Sandersees (Abb. 6), welche auf den temperaturabhängigen mikrobiellen Abbauprozess der Biomasse zurückgehen. Ab der Tiefe von –144 m aufwärts kommt es zu einer tiefgreifenden und abrupten Umstellung der Pollenführung im Sediment, die mit unterschiedlich starken Schwankungen bis –113 m anhält. Diese Umstellung vollzieht sich auf unterschiedlichen Ebenen, am tiefgreifendsten in der Zunahme des Erlenpollens mit maximal über 50 % der Gesamtpollensumme. An dieser Zunahme

des Erlenpollens ist wesentlich die Grün-Erle beteiligt, die als bestandbildende Pionierpflanze in kühl-humider Klimalage der subalpinen Stufe verbreitet ist. Die Ausbreitung der Grün-Erlen-Bestände führte offensichtlich auch zu einer Zunahme an Farnbeständen des monoleten Sporentyps, was ebenfalls für eine zunehmende Humidität des Klimas spricht. Diese Veränderungen in der Vegetation führten naturgemäß zu einer rückläufigen Verbreitungstendenz der gräser- und kräuterreichen *Artemisia*-Steppe. Die beginnende Milderung des Klimas führte zu einer gewissen Labilität des Talgletschers, der sich zwischen –144,5 m und –141 m zweimal kurzfristig zurückzog und Sandersedimente ablagerte. Konform damit kam es zwangsläufig zu einer zunehmenden

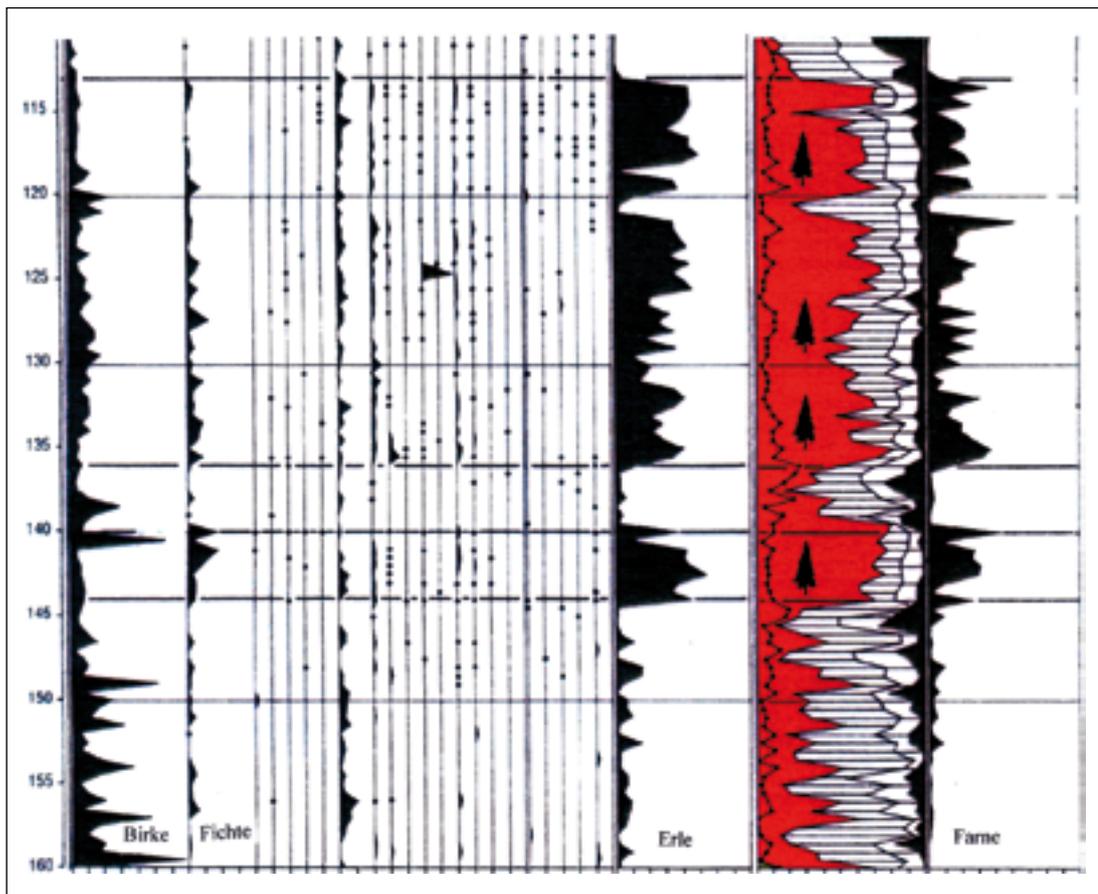


Abb. 5: Ausgehendes Hochglazial. Vereinfachter Ausschnitt aus dem Pollenprofil „Stappitzer See“ (FRITZ & UČIČ 2001). Die rot eingefärbte Fläche bezeichnet die Gesamtsumme des Gehölzpollens. Die eng gestreifte Fläche entspricht den Kräuterpollen.

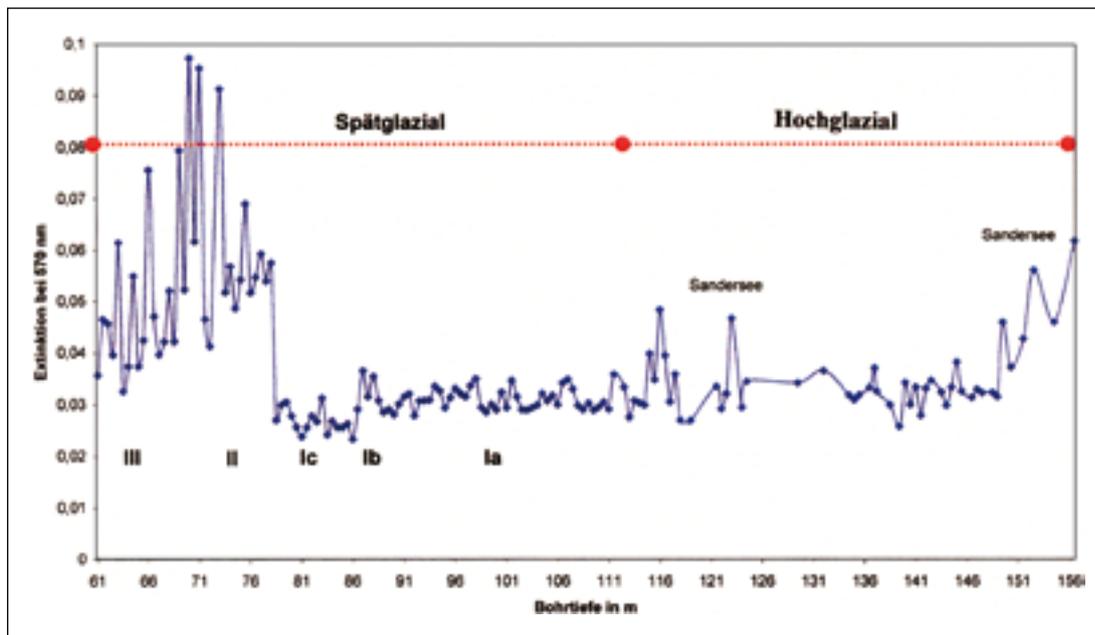


Abb. 6: Photometrische Extinktionsmessungen alkalischer Huminstoff-Auszüge in 10 %iger Kalilauge des ausgehenden Hochglazials und Spätglazials (-61 m bis -156 m).

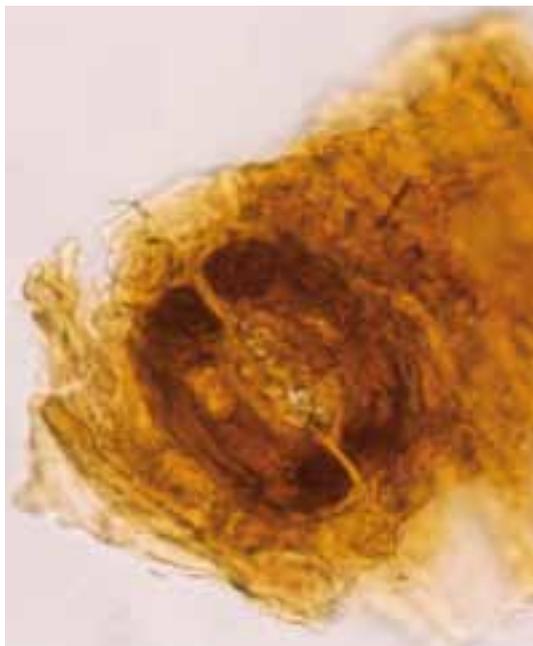


Abb. 7: Spaltöffnung einer Fichtennadel aus dem Verlandungsgebiet des Stappitzer Sees, Bohrung Stappitz-5, Tiefe -141 m (ausgehendes Hochglazial).

Polleneinwehung ökologisch anspruchsvoller Gehölze aus der näheren oder weiteren Umgebung wie unter anderem der Hasel, der Elemente des Eichenmischwaldes und der Rotbuche. Vor allem aber kam es im Zuge dieses klimatischen Ereignisses nachweislich zur Einwanderung der Fichte und der Lärche in das Seebachtal. Dafür sprechen Nadel-funde der Lärche in einer Tiefe von -141 m und -140 m sowie Spaltöffnungsapparate (Stomata) der Fichte (Abb. 7) ab -143 m durchgehend bis -119 m. Lärchenpollen ist im Gegensatz zum Blütenstaub der Fichte sehr schlecht erhaltungsfähig und tritt daher im Pollenbild nur sporadisch mit wenigen Pollenkörnern in Erscheinung. Der Fichtenpollen hingegen zeigt ab jetzt allgemein eine deutliche Zunahme und erreicht vorübergehend von -141/-140 m einen Anstieg bis zu 17 % der Gesamtpollensumme. Derartige Fichtenpollenmengen werden in der pollenanalytischen Praxis als sicherer Beweis gewertet, dass zumindest einzelne Baumexemplare in der unmittelbaren Umgebung der Bohrstelle stockten. Dieses klimatische und vegetationsgeschichtliche Intermezzo steht vermutlich im Zusammenhang mit dem

Lascaux Interstadial, welches im grönländischen Eisbohrkern von Camp Century an den $\delta^{18}O$ -Variationen zeitlich (20.000 bis 17.000 v. H.) abgegrenzt werden konnte (DANS-GARD et al. 1969, S. 379) und dessen jüngere Temperaturspitze etwa um 17.000 v. H. möglicherweise im Zusammenhang mit der Zuwanderung der subalpinen Nadelhölzer in das hochglaziale Seebachtal zu sehen sind. Diese frühe, also noch im ausgehenden Würm-Hochglazial eingetretene Zuwanderung der Lärche und Fichte in die südlichen Hohen Tauern setzt naturgemäß voraus, dass auch in anderen Landesteilen Kärntens die Einwanderung dieser Gehölze nachgewiesen werden kann. Die pollenanalytischen Untersuchungen der talfüllenden Sedimente bei Görttschach im Gailtal (FRITZ & UČEK 2003) mit einer Länge des Sedimentprofils von 100 m bestätigen nicht nur die frühe Fichtenzuwanderung, sondern zeigen auch auf, dass die Zuwanderung und Ausbreitung der baumartigen Gehölze in Kärnten von Oberitalien aus über Oberkärnten erfolgte. Die Sedimente weiter östlich im Land wie im Dobrammoor (Sörger Berge, Gurktaler Alpen) haben in ähnlicher stratigraphischer Position wie der Fichtenpollengipfel im Seebachtal neben erhöhten Fichtenpollenmengen (12 %) ebenfalls auch Lärchennadeln geliefert (FRITZ 2009).

Das anfänglich kühl-humide Klima im ausgehenden Hochglazial wurde allerdings sehr bald durch einen ziemlich kräftigen Klimarückschlag bei –140/–136 m unterbrochen. Die Klimaverschlechterung führte zu einem neuerlichen Vorstoß des Talgletschers mit der zweitmächtigsten Moränenablagerung im Gebiet. Im Zuge damit kam es zu einer Ausbreitung der Kiefer (vermutlich Latsche) und nochmals für eine kurze Zeit kam es zum Aufleben des kaltzeitlich-trockenen Klimas des Hochglazials.

ZUM PROBLEM DER POLLENFUNDE WÄRMELIEBENDER GEHÖLZE AN DER BASIS SPÄTGLAZIALER SEDIMENTE

Das Vorkommen von Blütenstaub ökologisch anspruchsvoller Gehölze an der Basis spätglazialer Sedimente, wie im Beispiel der talfüllenden Ablagerungen im Seebachtal

in der Tiefe von –160 m bis –113 m, ist eine von zahlreichen Pollenanalytikern gemachte Erfahrung. Derartige Beobachtungen liegen aus zahlreichen Pollenprofilen der Süd- und Zentralalpen sowie der südlichen Alpenrandes (ZOLLER 1987) vor. Aus den Tiroler Alpen hat SARNTHEIN (1936, 1940, 1949) solche Funde bekannt gemacht. Ursprünglich wurden diese Pollenvorkommen allgemein als Verunreinigungen angesehen, die entweder im Zuge der Probenentnahme oder durch Pollenumlagerung aus älteren Sedimenten zustande gekommen sein sollten. SARNTHEIN (1936, S. 573–574) dagegen glaubte Pollenvorkommen dieser Art (außer Pollenflug) auf ein sehr frühes lokales Auftreten anspruchsvoller Gehölzbestände beziehen zu können. In Anlehnung an FEUERSTEIN (1934) hielt FEUERSTEIN (1936) eine Klimaschwankung vom Typus eines Interstadials dafür verantwortlich. Die Erfahrung aus der Pollenüberlieferung im Seebachtal lässt die von Sarnthein angenommene Vermutung durchaus als realistisch und daher als prüfenswert erscheinen.

VEGETATION UND KLIMA IM SPÄTGLAZIAL

(Entsprechend den Bohrtiefen von –113 m bis –60 m, Abb. 8)

Mit der Tiefe von –113 m ändert sich an der Bohrstelle der Pollen- und Sporenhalt des talfüllenden Sedimentes tiefgreifend dadurch, dass der Erlenpollen und die monoleten Farnsporen auf ein sehr geringes Niveau absinken. Im Gegenzug dazu gewinnt ab jetzt die Pollenüberlieferung vegetationsoffener Pflanzengesellschaften der gräser- und kräuterreichen Artemisia-Kältesteppe neuerlich an Bedeutung. Diese gravierenden Veränderungen in der Vegetation, die sich im Sinne eines kaltzeitlich-ariden Klimas bis etwa –97 m noch stärker ausprägten, bilden den Tiefpunkt der im erbohrten Sediment des Seebachtals vorliegenden Vegetations- und Klimaentwicklung. Im Sinne der mitteleuropäischen Waldgeschichte nach FIRBAS (1949) ist der Zeitabschnitt der Älteren Tundrenzeit, die Pollenzone Ia, dem Spätglazial zuzuordnen. Dieser Abschnitt der Klima- und Vegetationsgeschichte (oder auch nur der Tiefpunkt bei –103/–102 m) mit maximal knapp über 45 %

Artemisia-Pollen der Gesamtpollensumme wird vermutlich im Sinne von REITNER (2011, S. 89) mit der Gschnitz-Kaltzeit zu parallelisieren sein. Mit dem Ende dieser außergewöhnlichen Kaltperiode setzt ab –97 m aufwärts eine markante Umstellung in der Pollenüberlieferung und damit in der Vegetations- und Klimaentwicklung ein. Ab jetzt dokumentiert eine mit stärkeren Schwankungen ablaufende Kiefernpollenkurve eine zunehmende Ausbreitung dieses Gehölzes, vermutlich der Latsche (Legföhre). Es ist

die Zeit einer allmählich voranschreitenden spätglazialen Klimabesserung mit den Höhepunkten in der bölling- und allerödzeitlichen Warmphase. Ähnlich, wie das Spätglazial mit einer markanten Kaltphase begann, endete es auch mit einem neuerlichen Klimarückschlag, der Egesen-Kaltzeit. Die Veränderungen in der Vegetation sind gegenüber dem Alleröd am deutlichsten an der Zunahme der *Artemisia*-Bestände als kaltzeitliches Florenelement festzustellen. Dagegen war der Rückgang der Gras- und Kräutervegetation

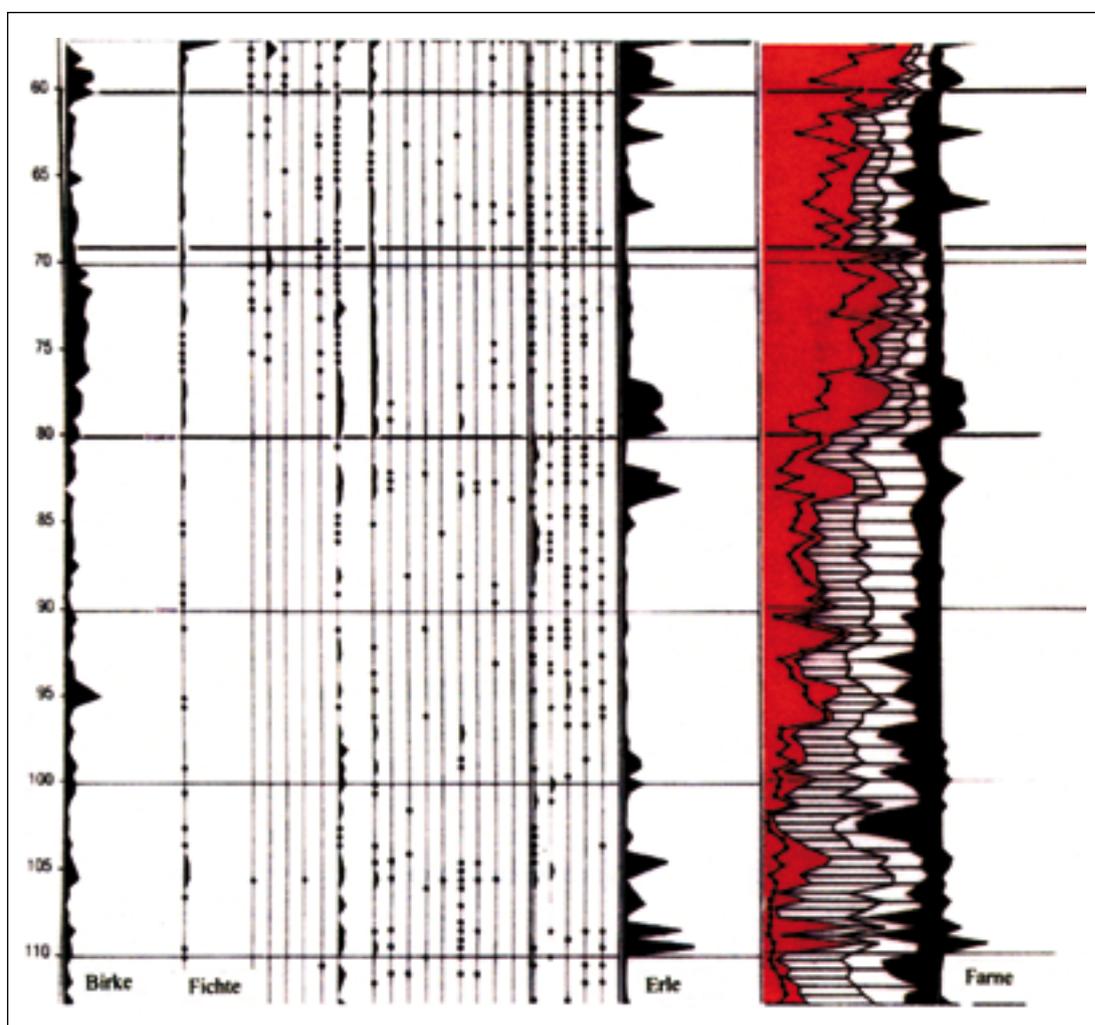


Abb. 8: Spätglazial. Vereinfachter Ausschnitt aus dem Pollendiagramm „Stappitzer See“ (FRITZ & UČEK 2001). Die rot eingefärbte Fläche bezeichnet die Gesamtsumme des Gehölzpollens (vorherrschend Kiefer). Eng gestreift: Gesamtsumme des Kräuterpollens. Weit gestreift: Gräserpollen. Schwarz: Beifußpollen.

sowie jener der Kiefer nicht besonders gravierend. Trotz der spätglazialen Erwärmungsphasen muss das Spätglazial, so wie es sich im Seebachtal repräsentiert, klimatisch als kaltzeitlich und zudem als arid bezeichnet werden. Gerade die hohen Kieferpollenwerte im Alleröd von knapp über 60 % der Gesamtpollensumme sind ein Hinweis auf typisch glaziale Verhältnisse. Pollenanalytische Untersuchungen, die weit in die erdgeschichtliche Vergangenheit zurückreichen, lassen erkennen, dass die Kiefer in ausgeprägten warmzeitlichen Ablagerungen (mit Ausnahme der Übergangphasen zu den angrenzenden Glazialen) nur in geringer Menge auftritt (WALTER & STRAKA 1970). Hingegen fehlen im Spätglazial des Seebachtales sichere Nachweise ausgesprochen warmzeitlicher Gehölztypen. Selbst die ökologischen Ansprüche der Fichte auf mäßig warme Sommer und milde Winter sowie auf ausreichende Wasserversorgung waren nicht erfüllt, sodass die Pollenführung im spätglazialen Sediment einen Rückgang des Fichtenpollens verzeichnet.

DAS SPÄTGLAZIAL DES STAPPITZER SEES (SÜDSEITE DER ALPEN) IM VERGLEICH MIT DEM SPÄTGLAZIAL DES MOORES BEIM LANSER SEE III (NORDSEITE DER ALPEN)

Der Vergleich der spätglazialen Vegetations- und Klimaentwicklung am Beispiel des Seebachtales für die Südseite der Alpen und des Lanser Moores für die Nordseite der Alpen kann sich auf das Typprofil für die Ostalpen („Moor beim Lanser See III“) stützen, welches von BORTENSCHLAGER (1984) vorgelegt wurde. Der Vergleich zeigt, dass ungeachtet der unterschiedlichen geo- und orographischen Lage der beiden Lokalitäten sowie der stark von voneinander abweichenden Länge der spätglazialen Diagrammabschnitte (Seebachtal 53 m, Lanser Moor 1,47 m) wesentliche Übereinstimmungen in der Vegetations- und Klimaentwicklung bestehen. Und das trotz der im Spätglazial neuerlich einsetzenden Erwärmungstendenz, welche im Alleröd-Interstadial gipfelt, die aber nicht in der Lage war, den großräumig-kaltzeitlichen Klimacharakter des ausgehenden Würmglazial entscheidend zu verändern. Die nach Norden

hin abgeschirmte Lage des Seebachtales bei gleichzeitiger Zuwendung zu den südlich der Alpen gelegenen Refugialgebieten äußert sich allerdings in einem etwas stärkeren Aufkommen eingewehter Pollenkörner wärmeliebender Hölzer als das im Pollendiagramm des Moores am Lanser See III nördlich der Alpen der Fall ist. Die spätglaziale Pollenüberlieferung im Diagramm des Moores beim Lanser See III verfehlt zudem nur knapp die pollenstratigraphische Grenze des auslaufenden Hochglazials, was vermutlich zum Ausbleiben gehäuft auftretender Pollentypen wärmeliebender Holzpflanzen führte. Die Durchführung einer Kernbohrung bis in eine angemessene Tiefe des mineralischen Untergrundes des Moores wäre in Anlehnung an die Erfahrung aus dem Seebachtal empfehlenswert und von großer stratigraphischer Bedeutung.

BEMERKUNGEN ZU AMPFERERS „SCHLUSSVEREISUNG“

Die Vorstellung Ampferers eines neuerlichen Vorstoßes alpiner Gletscher, abgelöst von der Würmeiszeit (AMPFERER 1930, 1936), das heißt Vorstoß der Gletscher in ein neuerliches aperes Gebirge, ist seitens der Glazialgeologie nicht unwidersprochen geblieben (BOBEK 1930). Bemerkenswerte neuere Einsichten über einen sehr frühen Zerfall- und Abschmelzprozess des alpinen Eisstromnetzes sowie eines Wiedervorstoßes der großen Alpengletscher (REITNER 2011, S. 85) sollte eigentlich der Vorstellung Ampferers entsprechen. Die vorgelegten pollenanalytischen und glazialgeologischen Ergebnisse aus dem Spät-Würm des Seebachtales scheinen sich in dieser Frage mit den neuen glazialgeologischen Einsichten zu treffen. Und zwar insofern, als in der Zeit zwischen dem wahrscheinlichen Ende des letzten glazialen Maximums (LGM) um 21.000 v. H. (MONEGATO et al. 2007) und dem extremen kalten Gschnitz-Stadial um 15.900–15.400 v. H. (IVY-OCHE et al. 2006) Klimaverhältnisse herrschten, welche zum Zerfall des alpinen Eisstromnetzes und zum Abschmelzen des Würmeises bis in die alpine Region geführt hatten, wie am Beispiel der südlichen Hohen Tauern zu entnehmen ist.

VEGETATION UND KLIMA DES POSTGLAZIALS

(Ab –60 m Tiefe bis zur gegenwärtigen weitgehend sedimentären Verlandung, Abb. 9)

Die interglaziale Warmzeit des Postglazials beginnt konventionell um 11.700 v. H. Pollenstratigraphisch entspricht

diese Zeitgrenze im Sinne der mitteleuropäischen Waldgeschichte nach FIRBAS (1949) dem Beginn der Pollenzone IV, dem Präboreal. Die Abgrenzung dieser Zone gegenüber dem Spätglazial wird vom Autor im Pollendiagramm mit der Tiefe von –60 m festgelegt. Diese Grenze zeichnet sich durch einen rapiden Rückgang des Gräser-, Kräuter- und

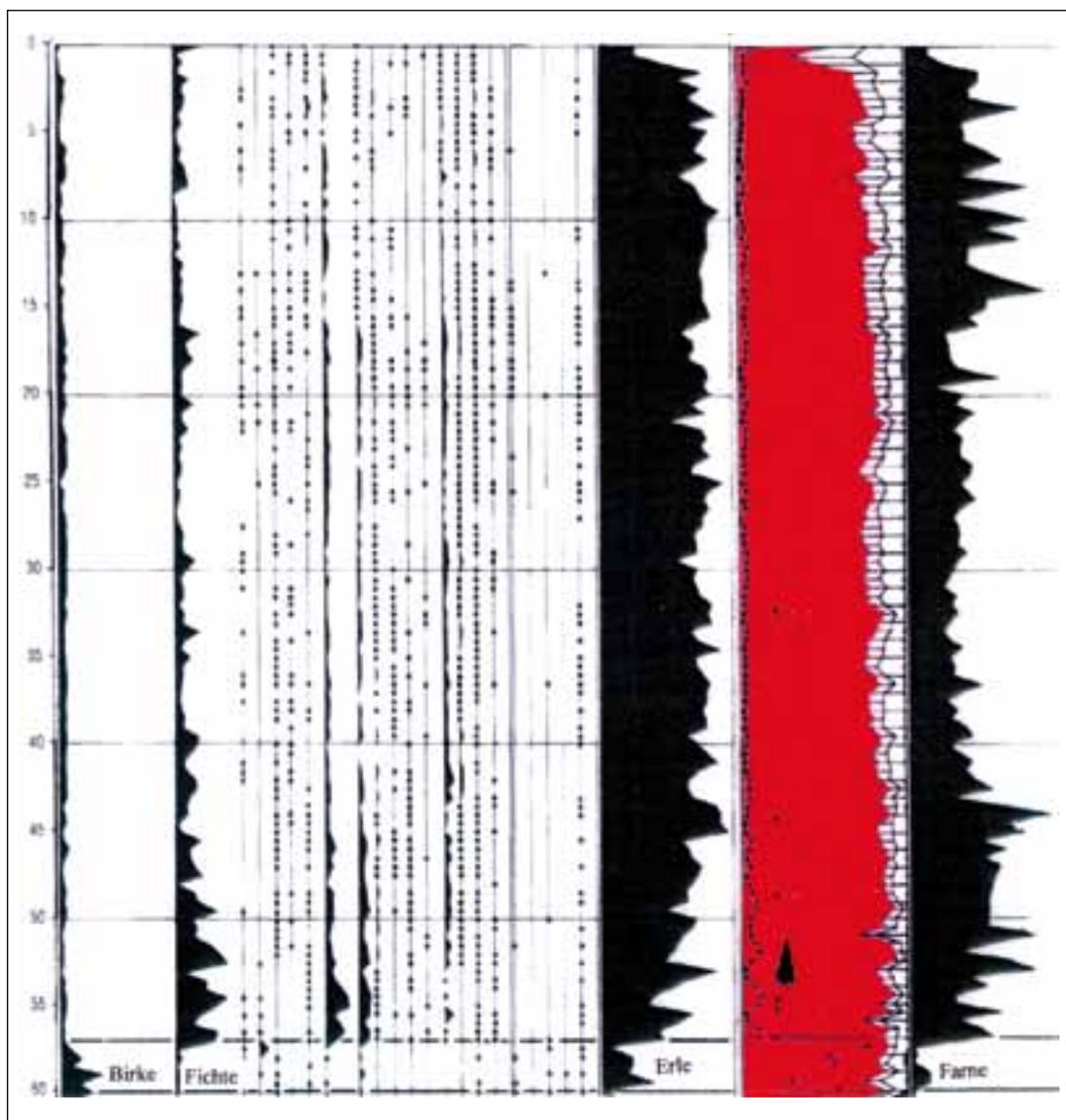


Abb. 9: Postglazial. Vereinfachter Ausschnitt aus dem Pollendiagramm „Stappitzer See“ (FRITZ & UČEK 2001). Die rote eingefärbte Fläche bezeichnet die Gesamtsumme des Gehölzpollens (vorherrschend Erle).

Artemisia-Pollens aus und dokumentiert damit das Ende der vegetationsoffenen *Artemisia*-Kältsteppe, an deren Stelle sich jetzt Birke und Kiefer (vermutlich Latsche) auszubreiten beginnen. Das bedeutet allerdings immer noch ein gewisses Nachwirken kaltzeitlich getönter, spätglazialer Klimaverhältnisse. Die entscheidende Umstellung der Vegetation und des Klimas in typisch warmzeitliche (interglaziale) Verhältnisse erfolgt erst in der Tiefe von –57 m, wie das an der starken Pollenzunahme der Grau-Erle und der Fichte sowie abgeschwächt auch am Blütenstaub ökologisch anspruchsvoller Gehölze (Hasel und Elemente des Eichenmischwaldes) zum Ausdruck kommt. Eine eingehendere und detailliertere Darstellung der postglazialen Vegetationsentwicklung findet man in FRITZ (2007, S. 52). Sie ist grundsätzlich durch zwei Faktoren bestimmt, einerseits durch die Lage des Seebachtales in der Inneralpinen Nadelwaldzone und andererseits durch eine deutliche Beziehung zu den postglazialen Waldphasen am südöstlichen Rand der Alpen (ŠERCELJ 1972).

Bereits von Anfang der postglazialen Vegetationsentwicklung an haben sich Fichte und Lärche als bestandbildende Waldbäume der obermontanen Stufe sowie die Grau-Erle als dominierendes Gehölz, das den Seebach begleitet und die wasserzügigen Unterhänge der Talflanken besiedelt, eingestellt. Dieser gewaltige Umschwung in der Vegetation findet seine Parallele in den Huminstoffeinlagerungen des talfüllenden Sedimentes (Abb. 10). Die Anreicherung an Huminstoffen verursacht von –57 m bis –42 m eine deutliche Braunverfärbung des Sediments. Nach radiometrischen Datierungen entspricht dieser Sedimentabschnitt der Zeit von etwa 9.500 v. H. bis etwa 4.000 v. H. Es ist die Zeit des postglazialen Klimaoptimums (SCHÖNWIESE 2003, S. 285). Die Fichte fand damals im Rahmen des obermontanen Fichten-Lärchenwaldes ihre stärkste Verbreitung an der Südseite der östlichen Hohen Tauern. Für diese Periode errechnet sich eine sehr niedrige durchschnittliche Sedimentationsrate von etwa 0,27 cm Sediment pro Jahr. Das postglaziale Klimaoptimum war demnach an der Südseite der östlichen Hohen Tauern nicht nur warm,

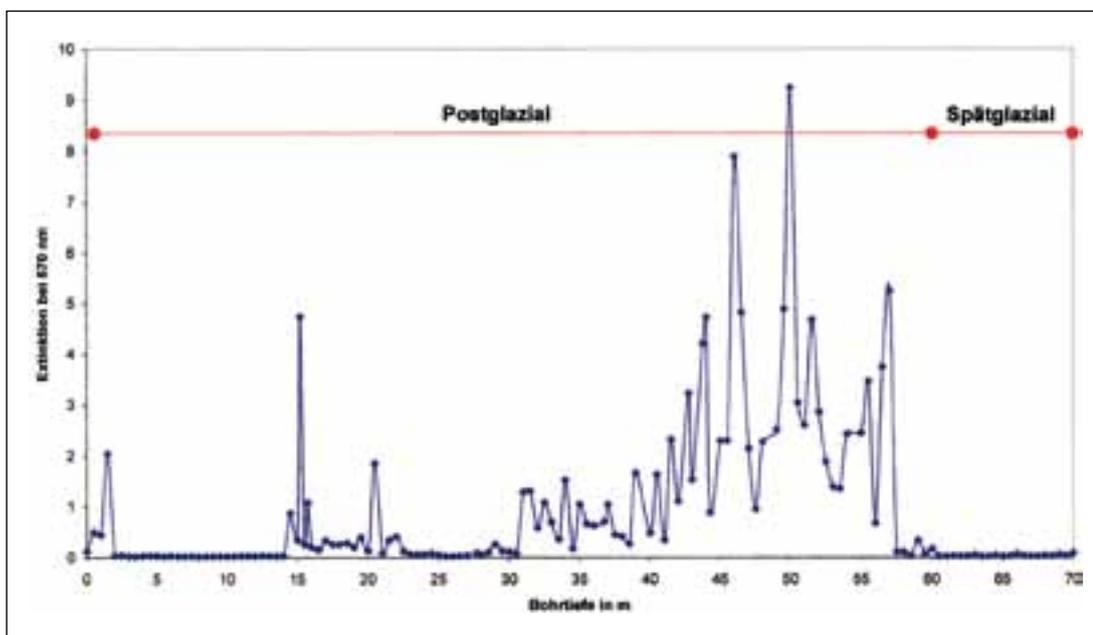


Abb. 10: Photometrische Extinktionsmessungen alkalischer Huminstoff-Auszüge in 10 %iger Kalilauge: Gesamtübersicht über das Postglazial (0 m bis –60 m).

sondern auch extrem trocken, abgesehen von einzelnen Schwankungen, wie das aus den gegenläufigen Pendelungen der Pollenkurven von Fichte und Grau-Erle zu deuten wäre. Der klimatische Niedergang im Postglazial ist von einer weltweiten Aktivierung der Gletschertätigkeit begleitet, brachte einen gravierenden Umbau im großklimatischen Regime mit sich, dessen klimatische Entwicklung nicht nur die Alpen, sondern die gesamte Nordhemisphäre einschloss (LAMB 1989, S. 146). Er wird in Abb. 10 am stufenweisen Rückgang der Huminstoffmengen im talfüllenden Sediment des Seebachtales deutlich erkennbar. Wie sich dieser Rückgang an den huminstoffgefärbten Kalilaugeauszügen abzeichnet, möge Abb. 11 veranschaulichen. Die Lärche beginnt sich dementsprechend im obermontanen Fichten-Lärchen-Wald stärker durchzusetzen, wie das aus den Pollenkörnern der Lärche zu entnehmen ist, die ab jetzt häufiger auftreten. Die Klima-

verschlechterung ab etwa 4.000 v. H. ist nach der Überlieferung im Seebachtal von zwei Perioden stark zunehmender Niederschläge begleitet, welche zu einem Rückgang des Schluffanteils im Seesediment zugunsten feinsandiger Ablagerungen führte. Diese beiden Perioden lassen sich mit den Kaltphasen der Völkerwanderung und der Kleinen Eiszeit identifizieren. Überblickt man das Postglazial insgesamt, so lassen sich in der Klimaentwicklung nach dem vorher Ausgeführten zwei herausragende Phasen unterscheiden: das anfänglich trockene (thermoxerische) postglaziale Klimaoptimum und die anschließende niederschlagsreiche (thermohygrische) Zeit allmählich fortschreitender Klimaverschlechterung. Diese Erfahrung am Beispiel des Seebachtales entspricht durchaus der Vorstellung jenes interglazialen Klimablaufs, wie sie von GRICHUK (1964) im Rahmen seines Schemas des Glazial-Interglazialen Klimazyklus vorgelegt

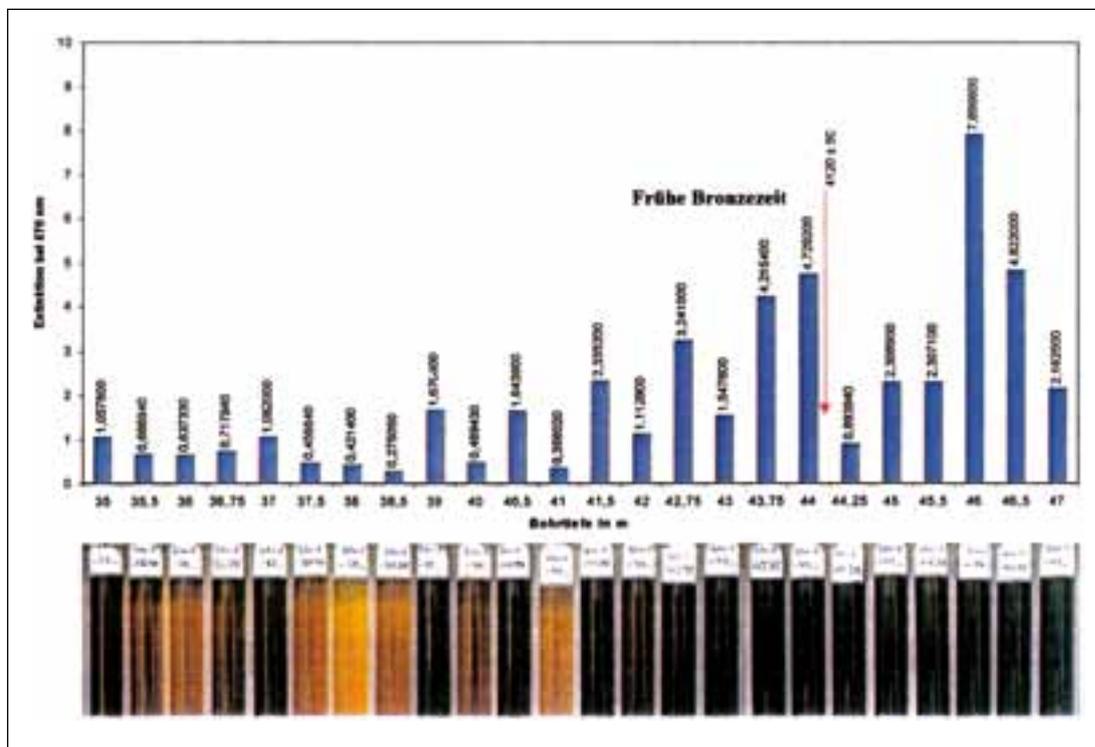


Abb. 11: Alkalische Huminstoff-Auszüge in 10 %iger Kalilauge und deren photometrische Extinktionsmessung aus der Zeit des abklingenden postglazialen Klimaoptimums.

wurde. Die Zeit der postglazialen Klimaverschlechterung wird (vor allem) in der anglo-amerikanischen Literatur bereits als „Neoglazial“ bezeichnet (LANG 1994, S. 339). Ein Terminus, der zweifellos im Sinne von „eiszeitlich“ irreführend ist, aber doch unmissverständlich darauf hinweist, dass das postglaziale Klimaregime sich etwa ab dem 5. Jahrtausend v. H. nachhaltig umzustellen begann und vermutlich bereits seiner letzten klimatischen Phase (Phase D im Sinne der interglazialen Entwicklung im Riss/Würm-Interglazial) entgegenstrebt (FRITZ, 2008).

DAS BOHRPROFIL STAPPITZER SEE IN GESTRAFFTER DARSTELLUNG

(Talfüllende Sedimente, Pollenüberlieferung, Klimaschwankungen, Klimacharakter, Abb. 12)

Eine spezielle Huminstoffuntersuchung am Sediment des Stappitzer Sees

Die einschlägigen Untersuchungen an den Bohrkernen aus dem Verlandungsgebiet des Stappitzer Sees wurden infolge der erbohrten Profillänge von 160 m

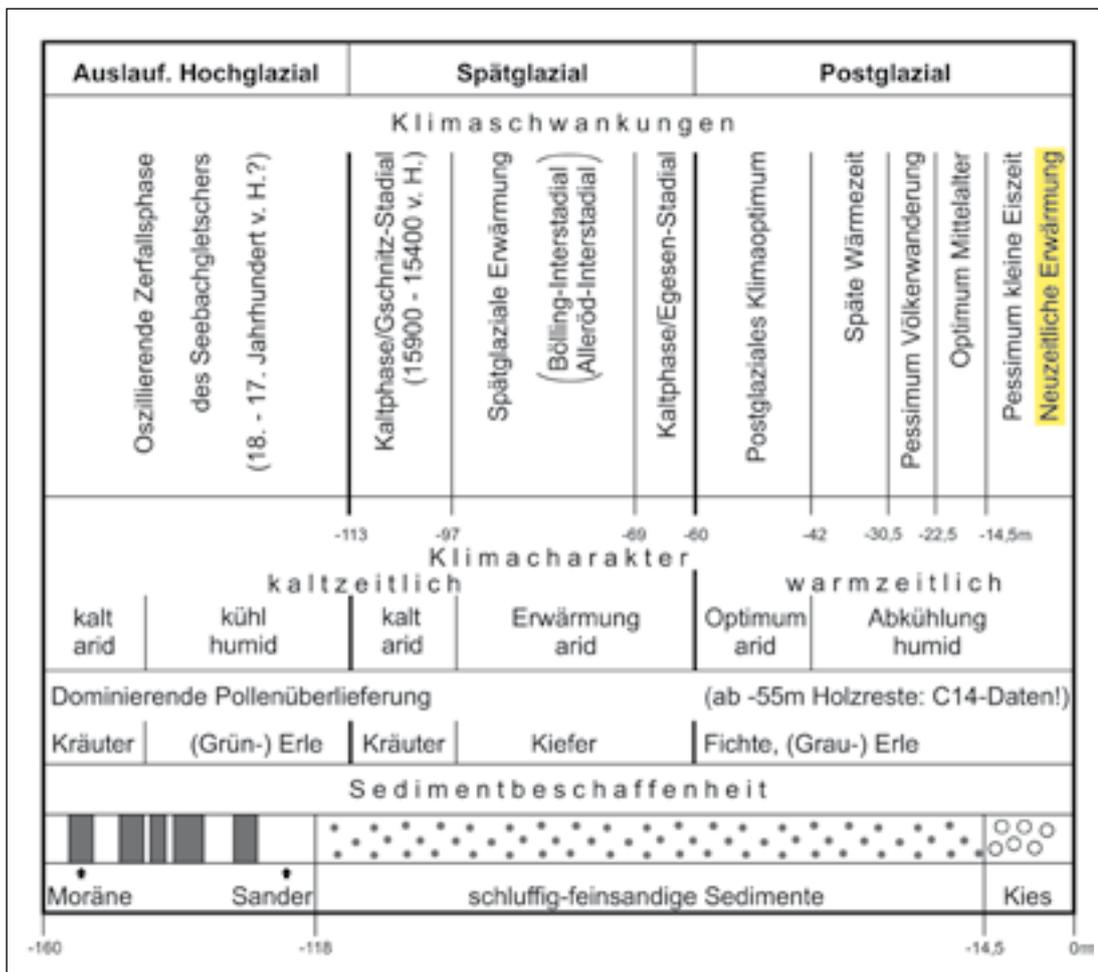


Abb 12: Übersicht über das talfüllende Sediment im Seebachtal mit vereinfachter Angabe der Pollenüberlieferung, der Klimaschwankungen und des Klimacharakters seit dem ausgehenden Hochglazial.

nur in relativ großen Abständen von 50 cm vorgenommen. Dadurch ist es möglich, temperaturbedingte Schwankungen der Huminstoffe in Zeitabständen von hunderten oder von tausenden Jahren zu erfassen. Diese Abstände reichen aber nicht aus, um kurzfristige Schwankungen, etwa von Jahrzehnten oder auch nur von Jahren, zu erfassen. Die Sedimentationsleistung des Seebaches im Postglazial mit einer durchschnittlichen Auflandung des Stappitzer Sees von etwa 0,5 cm pro Jahr bietet bei sehr engem Abstand der Sedimentproben die Möglichkeit, das Auftreten auch kurzzeitiger Huminstoff-Schwankungen zu überprüfen. Am 23. Oktober 2008 wurde daher im Uferbereich (Litoral) des Stappitzer Sees (Abb. 13) von der Oberfläche des überfluteten Seeufers aus mittels eines Stahlrohres eine ungestörte Sedimentfolge von 71 cm Länge (= 0 bis -71 cm) ausgestochen. Wie Abb. 14 zeigt, wurden die zur Untersuchung herangezogenen

Proben mittels eines Apfelstechers von 15 mm Querschnitt in engst möglichen Abständen dem Sediment entnommen. Die Abtrennung der Huminstoffe aus dem Sediment erfolgte durch vorsichtige Erwärmung mittels einer zehnprozentigen Kalilauge, die Mengenbestimmung der Huminstoffe fand durch photometrische Extinktionsmessung der gereinigten Huminstofflösungen bei einer Wellenlänge von 570 nm statt. Die einschlägigen Messungen wurden in der Kärntner Lebensmitteluntersuchungsanstalt mit einer Genauigkeit von fünf Kommastellen durchgeführt.

Die Huminstoffkurve aus der ufernahen Flachwasserzone

Die Huminstoffkurve aus der ufernahen Flachwasserzone des Stappitzer Sees umfasst 41 Proben und beginnt in der Tiefe von -71 cm mit Probe 1. Wie der Kurvenverlauf aufzeigt,



Abb. 13: Stappitzer See (1250 m) im Seebachtal bei Mallnitz, Hohe Tauern. Das Sediment, welches der speziellen Huminstoff-Untersuchung zugrunde liegt, wurde am 23.10.2008 im überfluteten Uferbereich ausgestochen.

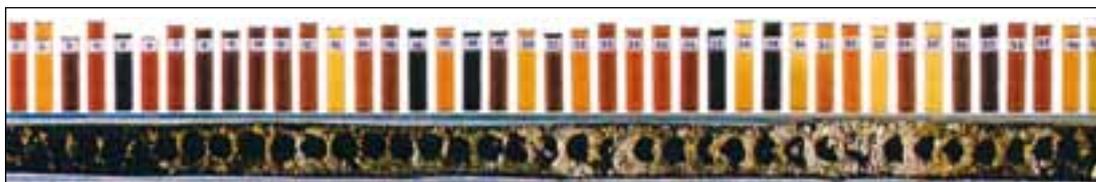


Abb. 14: Sedimentprofil aus dem Uferbereich des Stappitzer Sees von -71 cm Tiefe (links) bis 0 cm (rechts) und den zugeordneten alkalischen Huminstofflösungen von Probe 1 (links) bis Probe 41 (rechts).

liegt ein sehr lebhaftes Schwankungsmuster (Abb. 15a) mit stark und rasch schwankenden Huminstoffmengen vor. Huminstoffe sind schwer wasserlöslich, haben eine hohe Verweilzeit im Boden, bilden durch Interaktionen mit Mineralien stabile Ton-Humus-Assoziate und sind dadurch gegen

Mineralisierung weitgehend stabilisiert. Das sind gute Voraussetzungen für eine dauerhafte und horizontgebundene Erhaltung der Huminstoffe, die im Zuge des temperaturabhängigen, mikrobiellen Abbauprozesses der Biomasse entstehen. Es ist daher zu erwarten, dass die vorliegende

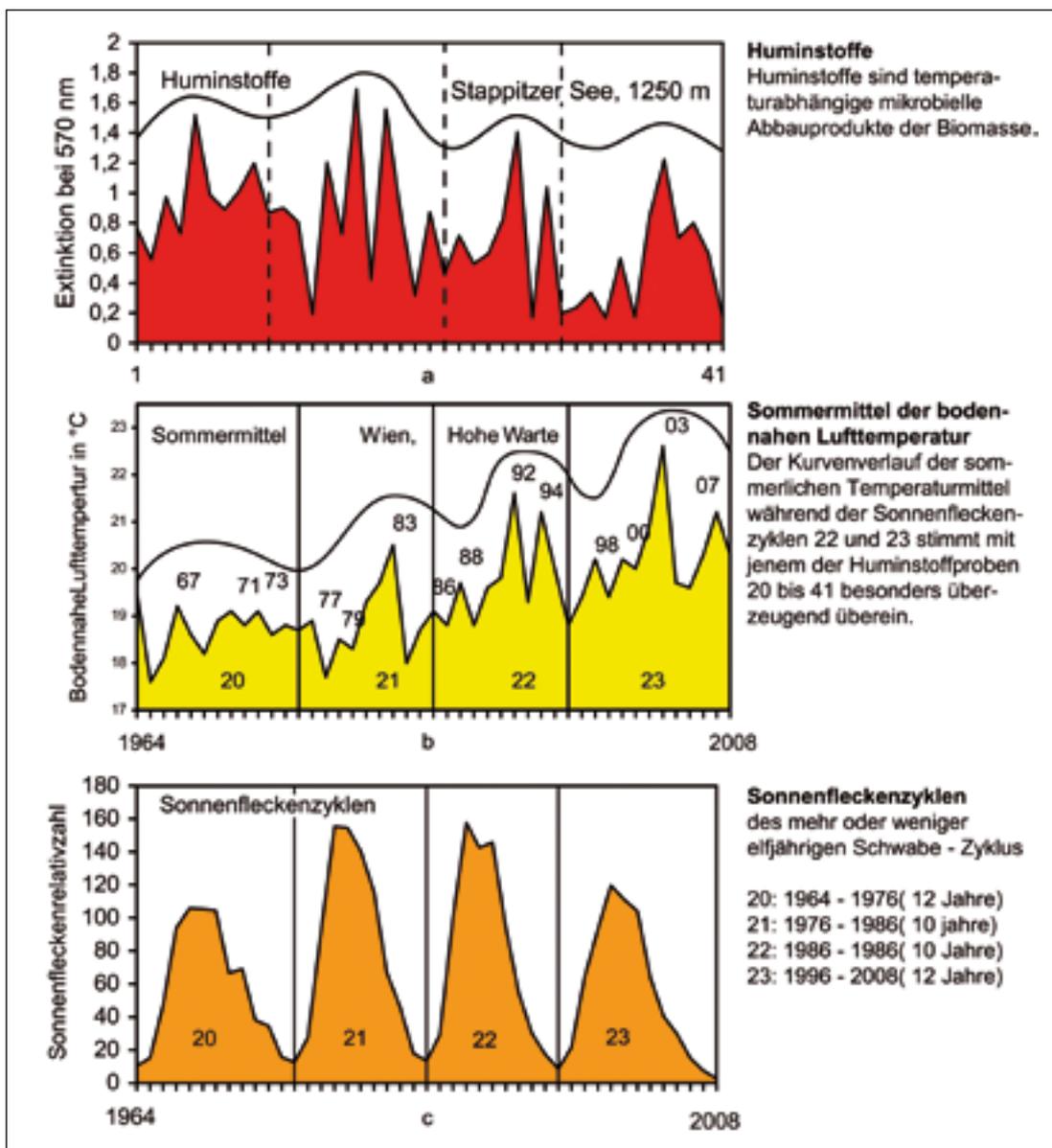


Abb. 15: Huminstoffkurve aus dem Stappitzer See im Vergleich mit der Kurve sommerlicher Temperaturmittel (Wien, Hohe Warte) der Jahre 1964 bis 2008 und der dazu gehörenden Kurve solarer Fleckentätigkeit (Zyklen 20 bis 23).

Huminstoffkurve zumindest die Tendenz jenes Temperaturverlaufes widerspiegelt, der zur Huminstoffbildung führte. Womit allerdings im Rahmen dieser Untersuchung nicht gerechnet wurde, ist die Beobachtung, dass der vorliegende Kurvenverlauf der Huminstoffe sowohl den Schwankungsrhythmus der Sonnenflecktätigkeit (\pm elfjähriger Schwabe-Zyklus, Abb. 15) als auch die kurzfristigen Kurvenschwankungen geomagnetischer Störungen (Abb. 17) widerspiegeln.

Die zeitliche Einstufung der Huminstoffkurve

Die zeitliche Einstufung der Huminstoffe erfolgt naturgemäß am ehesten über den Vergleich mit der bodennahen Lufttemperatur. Im vorliegenden Fall wurden die Temperaturmittel des meteorologischen Sommers (Juni bis August) herangezogen, da angenommen werden kann, dass im Stappitzer See,

einem Hochgebirgssee mit 1250 m über der Adria, die Humifizierung der Biomasse vorwiegend in der warmen Jahreszeit stattgefunden haben wird. Infolge der Sedimententnahme unmittelbar von der Oberfläche des überfluteten Seeufers aus ist weiters anzunehmen, dass die Huminstoffe aus einer Zeit stammen, die lückenlos aus dem vergangenen Jahrhundert bis an den Zeitpunkt der Probenentnahme (2008) heranreicht. Die eingehende Analyse der Huminstoffkurve (Abb. 15a) lässt einen markanten Schwankungsrhythmus erkennen, welcher zwangsläufig an jenen des \pm elfjährigen Schwabe-Zyklus der Sonnenflecktätigkeit erinnert (Abb. 15c). Demzufolge schien es sinnvoll, die Huminstoffkurve mit einer Temperaturkurve zu vergleichen, welche von 2008 ausgehend vier Fleckenzyklen (23, 22, 21, 20 = 2008 bis 1965) zurückreicht (Abb. 15b). Die figurale Übereinstimmung der Huminstoff-

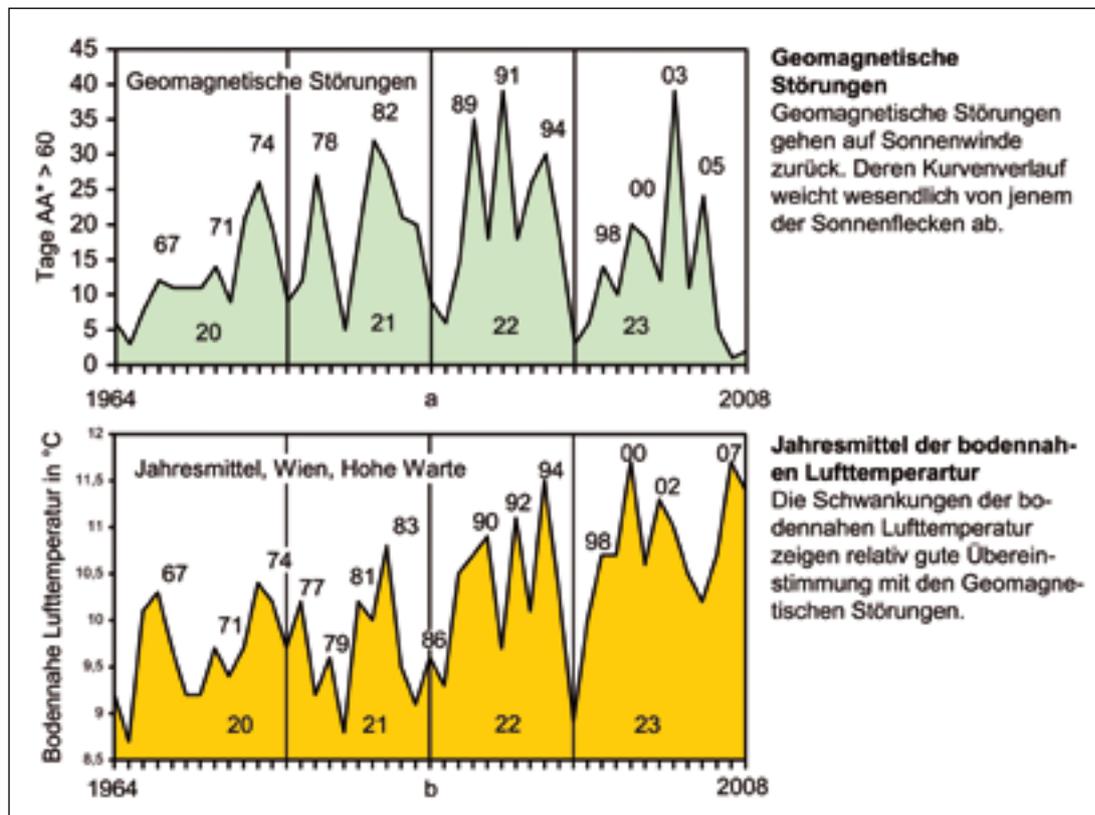


Abb. 16: Kurve geomagnetischer Störungen von 1964 bis 2008 im Vergleich mit den Jahresmittelwerten bodennaher Lufttemperatur (Wien, Hohe Warte) des gleichen Zeitraumes.

kurve mit der Temperaturkurve sommerlicher Mittelwerte in den Fleckenzyklen 22 und 23 überrascht in einem solchen Maße, dass (vorsichtig ausgedrückt) die Gleichartigkeit der beiden Kurven insgesamt mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit angenommen werden darf. Das Faktum, dass der Kurvenverlauf beider Parameter im Detail von jenem der Fleckenzyklen abweicht (Ab. 15c), spricht dafür, dass neben dem solaren Einfluss der Fleckentätigkeit noch ein weiterer solarer Einfluss wirksam sein muss, der offensichtlich in den Sonnenwinden zu suchen ist.

Bodennahe Lufttemperatur und geomagnetische Störungen

Sonnenwinde sind Partikelströme, die ständig von der Sonne ausgeschleudert werden und im Kontakt mit dem

Magnetfeld der Erde geomagnetische Störungen auslösen (Abb. 16a). Aus dem Kurvenvergleich der Jahresmittelwerten bodennaher Lufttemperatur (Abb. 16b) mit den geomagnetischen Störungen lassen sich überraschenderweise eindeutige Beziehungen zwischen beiden Parametern feststellen. Diese Beziehungen äußern sich z. T. in einer weitgehend figuralen Ähnlichkeit der Kurvenmuster, in einer gleichen Anzahl von Kurvenspitzen je Fleckenzyklus, sowie in einer zeitlichen Koinzidenz der Kurvengipfel, wie im Beispiel des Fleckenzyklus 20. Häufig hinken allerdings, wie im Fleckenzyklus 22, die Temperaturspitzen gegenüber jenen geomagnetischer Störung um ein Jahr nach. Auf derartige Abweichungen hat der Autor bereits in einem anderen Zusammenhang aufmerksam gemacht und diese als Folge eines statistischen Effektes gedeutet (FRITZ 2011). Es liegen

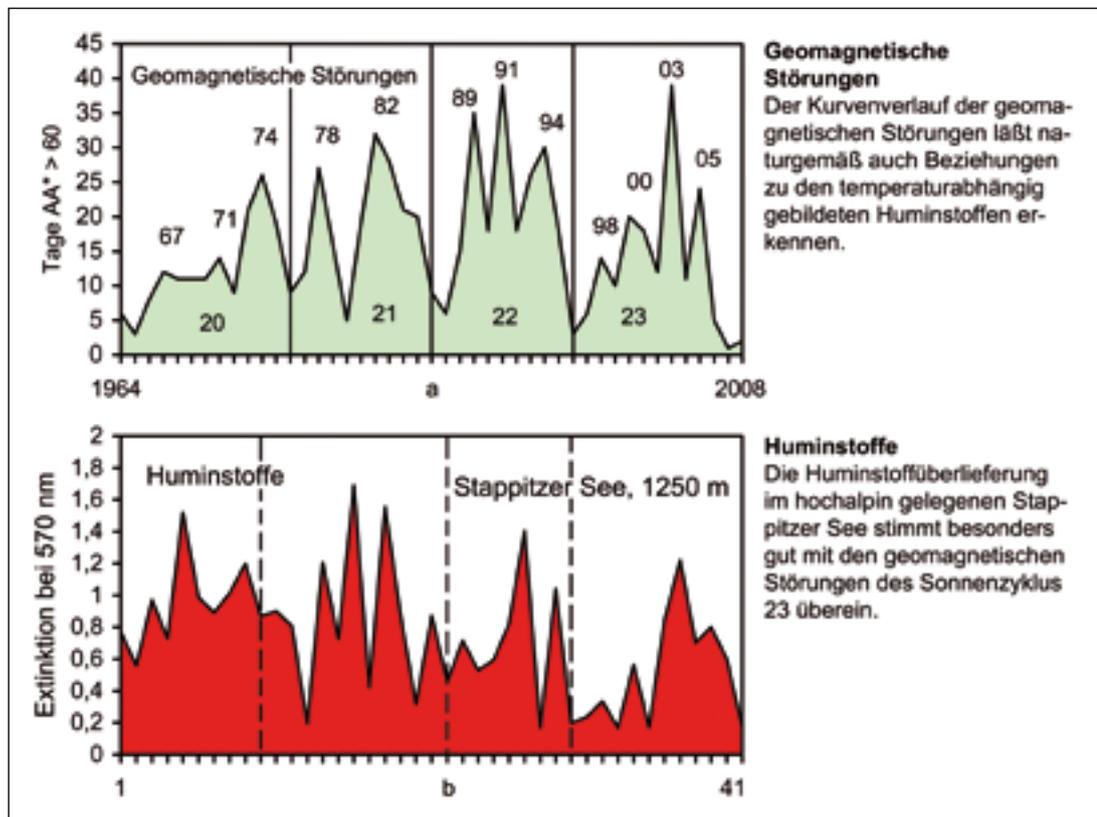


Abb. 17: Kurve geomagnetischer Störungen aus der Zeit von 1964 bis 2008 im Vergleich mit der Huminstoffüberlieferung der Tiefe -71 cm bis 0 cm des Stappitzer Sees bei Mallnitz (Hohe Tauern).

aber auch Anhaltspunkte vor, dass derartige Verzögerungen als Folge zu schwacher Sonnenwinde aufgefasst werden könnten.

Huminstoffe und geomagnetische Störungen

Die Temperaturabhängigkeit des Humifizierungsprozesses der Biomasse legt nahe, dass auch die Huminstoffe den solaren Einfluss der Sonnenwinde in Form geomagnetischer Störungen erkennen lassen (Abb. 17). Auch hier gelten die gleichen Kriterien wie im Falle der bodennahen Lufttemperatur: figurale Ähnlichkeit der Kurvenschwankungen (Fleckenzyklus 23) und gleiche Anzahl von Kurvenspitzen im Zyklus (Fleckenzyklus 20, 22 und 23). Die Abweichung von diesen Normen im Fleckenzyklus 21 löst sich auf, wenn man die entsprechende Kurve der Jahresmitteltemperaturen in die Betrachtung einbezieht. Diese weist im Fleckenzyklus 21 (Abb. 16b) eine den geomagnetischen Störungen entsprechende Zweigipfeligkeit auf, doch jeweils mit einer zusätzlichen „Adventivspitze“, was offensichtlich in der sommerlichen Huminstoffproduktion zu einer Viergipfeligkeit der Huminstoffkurve führte.

Schlusswort

Wie die Kurve bodennaher Lufttemperatur in Abb. 16 sowie die Huminstoffkurve in Abb. 17 im Vergleich mit den geomagnetischen Störungen vor Augen führt, gibt es unterschiedlich abgestufte Annäherungen zwischen den Kurven dieser Parameter. Das ist zweifellos ein Hinweis, dass es neben dem solaren Einfluss noch weiteres Faktoren gibt, welche auf die Temperaturentwicklung und den Humifizierungsprozess einwirken. Im Falle der Humifizierung der Biomasse ist es bekannt, dass dieser Vorgang ein sehr komplexer Prozess ist, der neben klimatischen Faktoren auch noch von mikrobiologischen und biochemischen Bedingungen gesteuert wird. Es ist daher eine vollständige Übereinstimmung der angesprochenen Kurven speziell im Hinblick auf den Einfluss der Sonnenwinde grundsätzlich nicht zu erwarten.

LITERATUR

- Ampferer, O. (1930): Begründung der Schlussvereisung. Petermanns Geographische Mitteilungen, S. 231–133.
- Ampferer, O. (1936): Rätikon der Schlussvereisung. Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt und Montafon, 86. Band, S. 151–175.
- Bobek, H. (1930): Erwidern. Petermanns Geographische Mitteilungen: S. 233–235.
- Bortenschlager, S. (1984): Die Vegetationsentwicklung im Spätglazial: Das Moor beim Lanser See III, ein Typprofil für die Ostalpen. Diss. Bot. 72 (Festschrift Welten): S. 71–79.
- Dansgaard, W. J., S. J. Johnsen & J. Moeller (1969): One Thousand Centuries Climate Record from Camp Century on the Greenland Ices Sheet. Science, Volume 166: S. 377–381.
- Feuerstein, P. (1934): Geschichte des Viller Moores und des Seerosenweiher an den Lanser Köpfen bei Innsbruck. Beih. Bot. Centrbl.-Band LI, S. 477–526.
- Firbas, F. (1949): Waldgeschichte Mitteleuropas, 1. Band, Gustav Fischer Verlag, Jena. 480 S.
- Fritz, A. (1978): ¹⁴C-Datierungen aus dem Holozän und dem Würm-Glazial Kärntens (1962–1978). Carinthia II, 168./86.: S. 215–226.
- Fritz, A. (2007): Beitrag zur Klimageschichte des Postglazials am Beispiel des Seebachtales bei Mallnitz in den Hohen Tauern. Carinthia II, 197./117.: S. 41–52.
- Fritz, A. (2008): Das ausklingende Postglazial (Eine pollenanalytisch-sedimentologische Erörterung). Carinthia II, 198./118.: S. 103–111.
- Fritz, A. (2009): 20.000 Jahre Klimageschichte Kärntens. Carinthia II, 199./119.: S. 39–46.
- Fritz A. (2011): Einfluss solarer Aktivität auf Huminstoffbildung, Jahresmitteltemperaturen und CO₂-Immissionen. Carinthia II, 201./121.: S. 121–134.
- Fritz, A. & Ucik, F. H. (2001): Klimageschichte der Hohen Tauern. Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Nationalpark Hohe Tauern, Sonderband 3, Kärntner Nationalparkfonds, Großkirchheim. Carinthia II, 199./119.: S. 39–46.

- Fritz, A. & Ucik, F. H. (2003): Das Gailtal (Kärnten). Ein ostalpines Gehölzrefugium seit dem Ende des Würm-Hochglazials: Pollendiagramm Görttschach. Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 145. Jg. (Jahresband): S. 295–314.
- Grichuk, M. P. (1964): Comparative Study of the Interglacial and Interstadial Flora of the Russian Plain. INQUA, Vol. II, 395 S.
- Ivy-Ochs, S., Kerschner, H., Reuther, A., Preusser, F., Heine, K., Maisch, M., Kubik, P. W. & Schlüchter, C. (2008): Chronology of the last glacial cycle in the Northern European Alps. *Journal of Quaternary Science*, 23 (6–7): S. 559–573.
- Lamb, H. H. (1989): Klima und Kulturgeschichte. Rowohlt Taschenbuchverlag, Reinbek bei Hamburg, 448 S.
- Lang, G. (1994): Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Gustav Fischer Verlag, Jena–Stuttgart–New York, 462 S.
- Monegato, G., Ravazzi, C., Donegana, M., Pini, R., Caldeironi, G. & Wick, L. (2007): Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (Eastern Alps). *Quaternary Research* 68: S. 284–302.
- Reitner, J. M. (2011): Das Inngletschersystem während des Würm-Glazials. Arbeitstagung 2011 der Geologischen Bundesanstalt, Blatt 88 Achenkirch, 19.–23. September 2011.
- Sarnthein, R. (1936): Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer walddeschichtlichen Bedeutung. I. Teil: Brennergegend und Eisacktal. Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Verlag C. Heinrich, Dresden N, Band LV, Abteilung B: 544–631.
- Sarnthein, R. (1940): Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer walddeschichtlichen Bedeutung. II. Teil: Seen der Nordtiroler Kalkalpen. Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Verlag C. Heinrich, Dresden N, Band LX, Abteilung B, Heft 3: S. 437–492.
- Sarnthein, R. (1949): Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer walddeschichtlichen Bedeutung. III. Teil: Kitzbühler Alpen und unteres Inntal. *Österr. Bot. Zeitschrift*, Band XCV: S. 1–85.
- Schönwiese, Chr. D. (2003): Klimatologie. 2. Aufl., UTB 1793, Ulmer Verlag, 440 S.
- Schulz, L. (2004): Stappitzer See und Mallnitzer Seebach. Veröffentlichung des Kärntner Instituts für Seenforschung, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 77 S.
- Šercelj, A. (1972): Verschiebung und Inversion der postglazialen Waldphasen am südöstlichen Alpenrand. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, Band 85, Heft 1–4: S. 123–128.
- Walther, H. & Straka, H. (1970): Arealkunde. Verlag Eugen Ulmer, 478 S.
- Zoller, H. (1987): Zur Geschichte der Vegetation im Spätglazial und Holozän der Schweiz. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern, Bd. 29: S. 123–149.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wissenschaftliches Jahrbuch der Tiroler Landesmuseen](#)

Jahr/Year: 2013

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Fritz Adolf

Artikel/Article: [Beitrag zur Klimageschichte an der Südseite der östlichen Hohen Tauern. 185-203](#)