

Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 45 (1983)

Artikel: Geschichte der Nussbaumer Seen (Kanton Thurgau) und ihrer Umgebung seit dem Ausgang der letzten Eiszeit aufgrund quartärbotanischer, stratigraphischer und sedimentologischer Untersuchungen
Autor: Rösch, Manfred
Kapitel: 4: Ergebnisse
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-593800>

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: 14.12.2025

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

den Nussbaumer Seen miteinander sehr gut korrelieren lassen, können die Influxwerte für die selbst nicht ausreichend datierten Diagramme problemlos berechnet werden. Die Influxdiagramme der Profile 1, 2 (Auszüge) und 8 befinden sich im Anhang (Abbildung 31 bis 33). Diese Diagramme sind folgendermassen gezeichnet: Am linken und am rechten Rand befindet sich jeweils ein Tiefenmassstab und ein Zeitmassstab, der das der jeweiligen Tiefe entsprechende Radiocarbonalter (unkorrigiert, mit 1950 A. C. = 0) angibt. Dieser Zeitmassstab wurde folgendermassen gewonnen: Mittels des oben erwähnten und für alle 10 Diagramme gültigen Chronozonensystems konnte jeder Tiefe der Profile, 1, 2 und 8 ein Alter zugeordnet werden (Abbildung 14). Daraus konnten dann die mittleren Sedimentationsraten (jeweils Mittelwert für jede LPZ) graphisch ermittelt werden (Steigung zwischen jeweils 2 Punkten). Trägt man nun diese mittleren Sedimentationsraten gegen die Tiefe auf, postuliert gleitende Änderung der Sedimentationsraten und verbindet die zugehörigen Punkte durch Kurven, so erhält man Abbildung 15, die die Sedimentationsraten der Profile 1, 2 und 8 für jede beliebige Tiefe darstellt. Die Abbildung 15 ist also Grundlage zur Berechnung der Influxwerte, der Abbildung 14 jedoch sind die Altersangaben entnommen. Diese graphische Methode birgt eine gewisse Ungenauigkeit in sich, doch ist der mittlere Fehler sicher nicht grösser als die Standardabweichung bei den ^{14}C -Daten.

In den Diagrammen folgt auf der linken Seite auf den Zeitmassstab die graphische Sedimentbezeichnung und dann die Markierung für die beprobten Horizonte. Auf der rechten Seite ist dem Tiefenmassstab eine Kolonne mit den lokalen Pollenzonen (LPZ) vorgeschaltet.

Alle übrigen Kurven stellen Influxwerte dar, ausgedrückt in Pollenkörnern beziehungsweise Sporen pro cm^2 und pro Jahr. Als erste Kurve von links ist der Gesamtinflux dargestellt, gegliedert in Baumpollen (senkrecht schraffiert), Strauchpollen (schwarz, umfasst die Gruppen: Pioniersträucher, *Salix*, *Hippophaë*, *Juniperus*, Lianen/Epiphyten/Immergrüne, Sträucher und *Corylus*) und Pollen krautiger Pflanzen (weiss, umfasst *Cyperaceae*, *Poaceae* und Kräuter). Die Wasserpflanzenpollen und Sporen sind in diesem Gesamtinflux nicht enthalten.

Alle rechts anschliessenden Kurven haben denselben Massstab. Dabei entspricht der Massstab der schwarzen Schattenrisse dem der Gesamtinfluxkurve. Die waagrecht schraffierten Kurven sind im Vergleich dazu zehnfach überhöht, die weissen Kurven 100fach. Der Gesamtinflux ist bei sehr geringen Werten (untere Diagrammteile) nicht mehr aufgegliedert (Kurve bleibt weiss), der zehnfach überhöhte Wert ist dann gestrichelt dargestellt.

Die Gruppe: Pioniersträucher umfasst *Ephedra dystachia*-Typ und *E. fragilis*-Typ, sowie *Myricaria*-Typ, die Gruppe: Lianen/Epiphyten/Immergrüne *Hedera*, *Viscum*, *Ilex* und *Buxus*. Die Bestandteile der übrigen Sammelgruppen (Sträucher, Verschiedene, Nässezeiger, Lichtzeiger, Kulturzeiger, Wasserpflanzen und Farne) können den Prozentdiagrammen entnommen werden. Häufige Arten (*Artemisia*, *Helianthemum*, *Thalictrum*, *Rumex*, *Plantago lanceolata*, *Humulus/Cannabis*, Cerealien undiff., *Secale*, *Sphagnum* und *Selaginella selaginoides*) sind von den jeweiligen Gruppen ausklammert und separat dargestellt.

4. Ergebnisse

4.1. Stratigraphie des Sedimentationsraumes Nussbaumer Seen

Die Ergebnisse der stratigraphischen Untersuchungen sind in den Abbildungen 5 bis 11 dargestellt. Dabei wird in Abbildung 11 ein Teilresumé der Abbildungen 5 bis 10 gezogen: Die höchstgelegenen Punkte, an denen noch Beckenton nachgewiesen werden konnte, wurden unter Berücksichtigung der Höhenlage verbunden und als mutmassliche Uferlinie des Nussbaumer Sees im frühen Spätglazial (vor 14 000 BP) gedeutet. Dieser See hatte 3 Inseln: eine grosse zwischen Hälfenberg, Buechbüel und Leber, sowie — in nordwestlicher Verlängerung — 2 kleine, Horn, heute Halbinsel, und die

heute noch als «Inseli» bestehende. Nordwestlich folgt mit der Halbinsel «Mooshölzli» eine weitere Erhebung über das spätglaziale Seeniveau. Dadurch deutet sich ein glazigen vorgeformter Riegel an, der schon damals das Nussbaumersee-Westbecken vom übrigen See abgliederte. Weitere, schwächer ausgeprägte Riegel könnten zwischen «Leber» und «Sandbuck», «Buechbuel» und «Obersee», sowie «Hälftenberg» und «Seehalde» bestehen. Die Vermutung liegt nahe, es handle sich um überfahrene oder vom Wasser erodierte Endmoränen.

Zu den so angedeuteten Teilbecken kommen noch die bereits in la völlig separierten Seelein bei «Weiher» NO des «Mooshölzli» und im «Bürgerried», beide vermutlich aus Toteislöchern entstanden und — im Vergleich zur Fläche — von beträchtlicher Tiefe.

Wegen steil einfallender Ufer fehlen verlandete Flächen am Nordufer des Hüttwiler Sees, am Westufer des Nussbaumer Sees (Endmoräne), im Bereich des oben erwähnten Riegels, sowie am Südufer und Nordwestufer des Harsensees ganz. Der überwiegende Teil der Verlandungsfläche, die nur geringfügig über das durch dunkel gefärbte Nassböden charakterisierte Areal hinausgeht, hat die Verlandungsabfolge: Seeton—Torf, fiel also bereits vor 13 000 BP trocken. Dies gilt auch für die weite Ebene zwischen Hüttwiler See und «Sandbühl».

Stratigraphisch können folgende Sedimenttypen unterschieden werden:

1. Der mineralische Untergrund (Grundmoräne) konnte von uns im Verlandungsgebiet nirgends mit Sicherheit erreicht werden. Technische Bohrungen (*E. Müller*, mündliche Mitteilung) zeigen jedoch, dass er im westlichen Gebiet unter sandigen und tonigen Lagen von weniger als 10 m Mächtigkeit liegt.

2. Die Mächtigkeit dieser vom gletschertrüben Eisstausee abgelagerten und das Becken auskleidenden Sande, Silte und Tone schwankt stark. So wurde eine technische Bohrung am Ostende des Hüttwiler Sees in 22 m Tiefe nach Durchteufen von 20 m Seeton ohne Erreichen des Untergrundes abgebrochen, wogegen zwischen Hüttwiler und Nussbaumer See an der Strasse von Nussbaumen nach Uerschhausen nördlich des Seebachs nur knapp 2 m Sande und Kiese und 2 m Seeton der Moräne aufliegen. (*E. Müller*, mündliche Mitteilung). Etwa 300 m östlich brachen wir unsere Bohrungen Nu 1 und Nu 9 nach dem Durchteufen von 7,5 m beziehungsweise 4 m Ton und Silt ab. An den Beckenrändern (Nu 2, Nu 4) scheinen die Mächtigkeiten dieser Schichten auch im östlichen Beckenteil geringer zu sein.

Die Korngrösse nimmt, bei gelegentlichen Inversionen, im Schnitt von unten nach oben ab. Den höchstgelegenen Seeton fand ich an der Strassenkreuzung N Uerschhausen auf Kote 440,8 m. Eine Sandauflage geringer Mächtigkeit ist wohl von Spitzenhochwässern mit hoher Transportenergie abgelagert worden.

3. Mit Tongyttjen, deren organischer Gehalt nach oben zunimmt, beginnt um 13 000 BP die limnisch-organische Sedimentation. Diese Schicht kann makroskopisch kaum vom Anmoor unterschieden werden, welches den Übergang vom Seeton zum Torf bildet.

4. Die Hauptmasse der überwiegend organogenen limnischen Sedimente weist einen mehr oder weniger grossen Kalkgehalt auf und ist als Seekreide oder Kalkgyttja anzusprechen. Wir finden diesen Sedimenttyp in einem Saum rings um die heutige Wasserfläche, der je nach Relief zwischen kaum 5 m und gut 100 m breit ist. Ausgedehnte Flächen mit abgeschlossener Ver-

landung über Seekreidestadien liegen im Buecher Ried, entlang des Seebachs zwischen Hüttwiler und Nussbaumer See (südlich etwa bis zum Feldweg unterhalb des Buechbüel, nördlich des Seebachs etwa dreimal so weit nach Norden bis zu dem Feldweg, der südlich an «Obersee» vorbei nach «Seehalden» führt), südöstlich der Halbinsel «Horn» sowie im «Moos» NW des Nussbaumer Sees. In den Seebecken selbst sind vor allem die litoralen Sedimente stark kalkhaltig. Vom Zentrum zur Peripherie hin nimmt dieser Sedimenttyp an Mächtigkeit ab und rückt immer höher, keilt jedoch stets vor Erreichen der 435-m-Linie aus.

5. In den zentralen Becken lagern mässig kalkhaltige bis kalkfreie limnische Sedimente. Dies gilt besonders für die schon erwähnten, separaten Becken «Bürgerried» und «Weiher», wo unter 4 m Torfen knapp 4 m beziehungsweise mehr als 7 m völlig kalkfreie Feindetritusgyttja liegt. Im eingehend untersuchten Bürgerried sind auch die peripheren limnischen Sedimente kalkfrei. Der kalkfreie Verlandungstyp ist jedoch mengenmässig an den Nussbaumer Seen die Ausnahme. In den anderen, heute noch wassergefüllten Becken sind die basalen Sedimentpartien ganz kalkfrei, die hangenden Sedimente, die ab 7500 BP abgelagert wurden, weisen einen mittleren Kalkgehalt auf, der aber optisch kaum zu erkennen ist.

6. Grobdetritusgyttja als Flachwasserbildung unter Schwimmpflanzengesellschaften kann im Feld nicht sicher von stark zersetzten Torfen unterschieden werden, weshalb dieser Sedimenttyp nicht immer erfasst ist. Die 10 Hauptprofile zeigen, dass die Mächtigkeit zwischen 0 (Nu 3, zeitlicher Hiatus) und 1,3 m (Nu 1 und 9) schwanken kann.

7. Torfe bilden den Abschluss der Verlandungsserie. Die noch erkennbaren pflanzlichen Komponenten gehören selten nur einem einzelnen Typ an, so dass die Ansprache nach dem vorherrschenden Bestandteil (Holz, Radizellen oder Schilfrhizome, Braunmoose) erfolgt. In der graphischen Darstellung sind alle Torfsorten, sofern nicht eindeutig Bruchwaldtorf vorliegt, mit der Signatur für Radizellentorf (=Cyperaceentorf) dargestellt. Unter diesem telmatischen Sedimenttyp ist also auch der Schilftorf subsummiert, der übrigens nie in reiner Form auftritt. Die komplexeste Abfolge, die auftritt, ist, von unten nach oben: Schilf-/Cyperaceentorf—Bruchwaldtorf—Cyperaceentorf—Bruchwaldtorf. In der Regel liegt diese Serie nicht vollständig vor. Sie kann verarmen bis zum alleinigen Auftreten von Bruchwaldtorf oder Cyperaceentorf ohne Fazieswechsel.

In seltenen Fällen tritt die Abfolge: Seekreide—Bruchwaldtorf—Seekreide—Bruchwaldtorf auf.

Erwähnt werden muss noch das Vorkommen von Brandhorizonten im Torf, vor allem im Transsekt 11, sowie das Ansteigen des Tonanteils in den oberen Schichten. Bei Nu 9 beginnt dies bereits in 550 cm Tiefe am Übergang: Grobdetritusgyttja—Bruchwaldtorf mit dem Auftreten der ersten Kulturzeiger. In den subaquatischen Profilen sind die seit dem Frühmittelalter abgelagerten Sedimente so stark tonhaltig, dass sie als Tongyttjen bezeichnet werden müssen. Der Tongehalt nimmt zur Gegenwart hin zu (vergleiche Abbildung 16!). Die oberen Torfschichten der seit 1945 unter der landwirtschaftlichen Tätigkeit leidenden Flächen sind stark gestört und verdichtet.

Erläuterungen zu den Abbildungen 5 bis 11:

Die Signaturen für die Sedimente und die Pollentypen der Kreisdiagramme sind in Abbildung 4 erklärt. LT bedeutet Laacher Bimstuff, HK Holzkohle (Brandhorizont!). Nachgewiesene isochrone Horizonte sind verbunden. Das

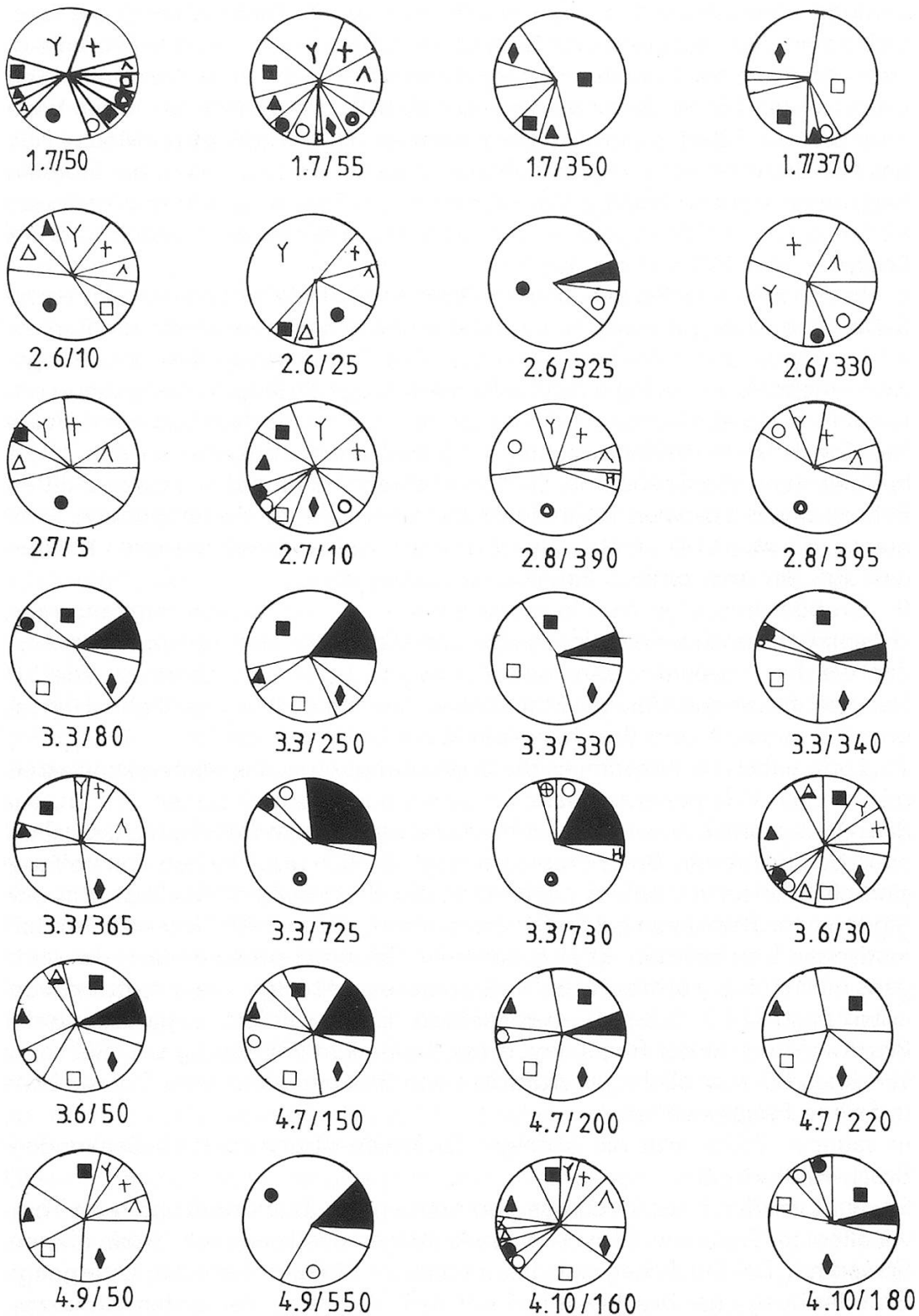


Abbildung 9a: Pollenkreisdiagramme zu den pollenanalytisch datierten Horizonten der Transsekte 1 bis 4.

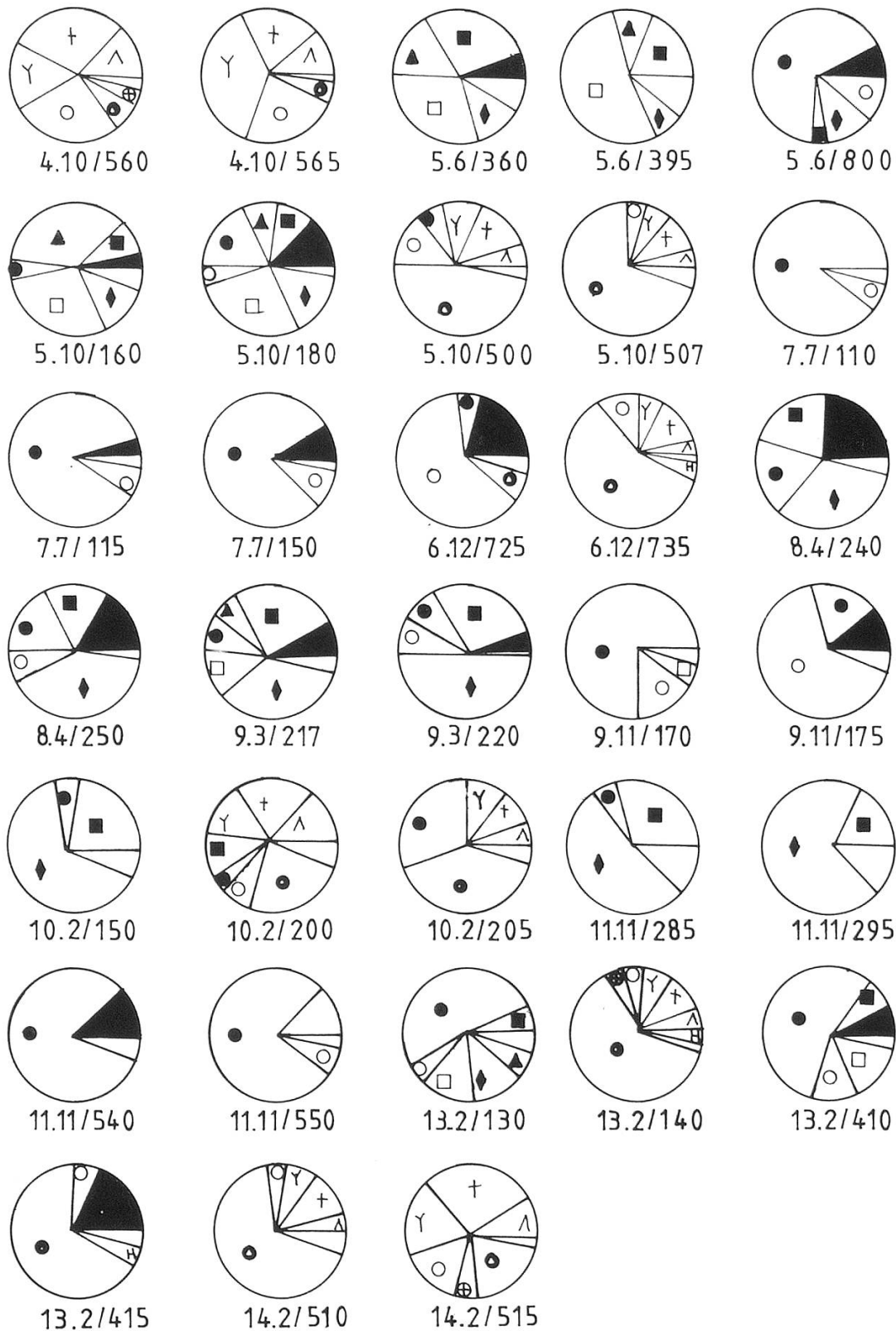


Abbildung 9b: Pollenkreisdiagramme zu den pollenanalytisch datierten Horizonten der Transsekte 4 bis 14.

Die Signaturen entsprechen denen der Pollenprozentdiagramme. Folgende Signaturen kommen hinzu:

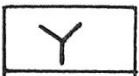
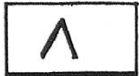
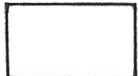


	Kräuter		Sauergräser		Summe der nicht eigens aufgeführten Baumpollen
	Gräser		NBP		



Abbildung 11: Gestalt der Nussbaumer Seen und deren Änderung 1. vor 15 000 Jahren
(Aufnahme des Bundesamtes für Landestopographie)



2. vor 13 000 Jahren



3. vor 5000 Jahren



4. heute

Abbildung 11a: Seenplatte von
Hüttwilen—Nussbaumen im Jahre 1935,
das heisst vor der Melioration.
(Aufnahme des Bundesamtes für
Landestopographie)



Alter der pollenanalytisch datierten Stichproben ist durch Einordnung in die mitteleuropäische Grundsukzession (römische Ziffern) angegeben, das zugehörige Pollenspektrum als Kreisdiagramm dargestellt (Abb. 9). Baumpollenanteile unter 5% sind im weissen Sektor zusammengefasst, die Nichtbaumpollen (NBP) im schwarzen Sektor.

In Abbildung 10 ist die Lage der Transsekte und Bohrpunkte wiedergegeben. Abbildung 11 stellt die Fläche der Nussbaumer Seen heute (Luftbild), vor 5000, vor 13 000, vor 15 000 Jahren und vor der Melioration (Luftbild) dar. Die stratigraphischen Ergebnisse selbst sind den Abbildungen 5 bis 8 zu entnehmen. Die Transsekte 1–14 sind 20fach überhöht. Bei Transsekt 15 ist die Überhöhung nur 6,25fach. Entlang der nivellierten Oberflächen ist schematisch die Vegetationsdecke dargestellt.

4.2. Beschreibung der Bohrprofile und Pollenprozentdiagramme

Nu 1 (Abbildung 21):

Lage des Bohrpunktes: Im Verlandungsbereich zwischen Hüttwiler See und Nussbaumer See am Südufer des grossen Stichweihers; Koordination des Bohrpunktes: 704 650 / 274 550; Die Oberkante des Profils liegt 60 cm über dem Wasserspiegel. Bohrung am 3./4. Oktober 1979 durch *G. Lang*, *A. Hofmann* und *M. Rösch* mit Streif-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (Tiefenangaben in cm)

0–12	mittelbrauner, trockener, stark durchwurzelter Reiserdtorf
12–78	schwarzbrauner, feuchter, stark zersetzter Schilftorf
78–135	dunkelbrauner, stark zersetzter Radizelltorf
135–256	schwarzer, sehr stark zersetzter Bruchwaldturf
256–355	schwarze Grobdetritusgyttja, ab 290 mit Molluskenschalen
355–370	schwarzbraune Grobdetritusgyttja mit zahlreichen Molluskenschalen
370–380	dunkelbraune, kalkhaltige Grobdetritusgyttja mit grossen Molluskenschalen
380–400	blassgraubraune Kalkgyttja mit Molluskenschalen
400–475	hellgraue Kalkgyttja mit Molluskenschalen
475–488	weissliche Seekreide
488–503	braune Kalkgyttja
503–504	Molluskenschicht
504–716	hellbeige Kalkgyttja bis Seekreide mit wechselndem Kalkgehalt und entsprechenden Änderungen von Farbton und Helligkeit; enthält, wie auch die Schichten darüber bis 290 und darunter bis 810 Molluskenschalen in wechselnder Häufigkeit;
716–729	hellgraue Tongyttja
729–742,5	weissgraue, stark gebänderte Seekreide
742,5–743	Laacher Bimstuff (olivgrau)
743–800	hellolivgraue, stark gebänderte Seekreide mit grossem Holzstück von 760–761 (<i>Betula alba</i>)
800–810	braungraue Tongyttja
810–815	olivgrauer, humoser Ton
815–1040	grauer Ton mit schwarzen Schlieren
1040–1550	überwiegend schluffiger Fein- und Mittelsand, mit sandig-schluffigem Ton wechsellagernd

Abbruch der Bohrung ohne Erreichen eines Bohrwiderstandes.

Diagrammgliederung:

Die basalen Profiltile wurden wegen zu geringem Pollengehalt nicht erfasst.

PAZ 1 (1260–1150): Vegetationsarme Phase. Der Baumpollenanteil, der zwischen

20 und 40% liegt, setzt sich aus *Pinus* und geringen Mengen von *Betula*, *Salix*, *Juniperus* und Thermophilen (EMW, *Corylus*, *Alnus*) zusammen. Etwa gleichen Anteil am Gesamtpollenspektrum wie die Gehölze hat das sehr artenarme Kräuterspektrum, das vor allem aus *Artemisia*, *Helianthemum*, *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae* und *Rumex* besteht.

PAZ 2 (1150—1090): Pionier-Phase

Bei weiterhin geringer Pollenführung geht der Anteil von *Pinus* und thermophilen Gehölzen zurück zugunsten der Gräser und Kräuter, deren Artenpalette nunmehr etwas breiter ist, vor allem wegen des Hinzutretens von *Thalictrum* und anderen Hochstauden.

PAZ 3 (1090—1010): Gräser-Kräuter-Phase

Geringfügig ansteigende Pollenkonzentration bei geringem Gehölzpollenanteil, leicht erhöhter Gräseranteil, regelmässiges Auftreten von *Ephedra* und ein breites Kräuterspektrum kennzeichnen diesen Abschnitt.

PAZ 4 (1010—895): Phase geschlossener Rasen

Dieser Abschnitt unterscheidet sich vom vorigen durch grösseren Anteil der *Cyperaceae*, deutlich erhöhte Pollenführung des Sediments und sehr hohe Artenzahlen (mit die höchsten des ganzen Profils).

PAZ 5 (895—825): Zwergstrauch- / Rasen-Phase

Bei weiter steigendem Pollengehalt nimmt der Birkenanteil zu Lasten der *Cyperaceae* und Kräuter zu. Bei den Kräutern gehen vor allem die Kurven der *Brassicaceae* und *Chenopodiaceae* zurück. Die Artenvielfalt bleibt erhalten. In den Abschnitten 3, 4 und 5 findet sich vermehrt Pollen von *Potamogeton* (ausser in der unteren Hälfte von 4).

PAZ 6 (825—812): Zwergstrauch- / Rasen-Phase mit Gebüschausbreitung

Der Pollengehalt nimmt nun sehr stark zu. Der Gräseranteil vergrössert sich auf Kosten der Kräuter. Neben *Betula* nimmt *Juniperus* zu, hat aber schwankende Werte. *Artemisia*, *Helianthemum*, *Caryophyllaceae* und *Rumex* gehen zurück.

PAZ 7 (812—798): *Juniperus* — *Betula* — Phase

Die Pollenkonzentration steigt rasch von 40 000 pro cm³ auf 200 000 pro cm³; zugleich erhöht sich der Baumpollenanteil von 35% auf gut 80% — dank des steilen Anstiegs der Juniperuskurve auf fast 70%. *Cyperaceae* und vor allem Kräuter haben nur noch geringen Anteil. Viele lichtliebende Arten sind verschwunden. Ephedrapollen wird selten. Bei nach wie vor recht grossem Weidenanteil liegt kurz nach dem Juniperusgipfel der von *Hippophaë* (knapp 4%). Am Ende des Abschnitts schliesst die ansteigende Birkenkurve zur abfallenden Kurve von *Juniperus* auf.

PAZ 8 (798—791): *Betula*-Phase

An der Zuverlässigkeit der Pollenkonzentrationen dieses Abschnitts muss gezweifelt werden, da die Werte zu sehr schwanken und in ihren Maxima einfach zu hoch sind. *Betula* dominiert, die Juniperuskurve fällt rasch ab. Auch Pollen von *Hippophaë* und *Salix* findet sich seltener. Eine Zunahme des Graspollens drückt den Baumpollenanteil vorübergehend herab.

PAZ 9 (791—784): *Betula*-Phase mit Lichtungszeigern und Einwanderung von *Pinus*

Ein Gräser- / Kräutervorstoss vermindert bei sinkenden Betulawerten, steigender Pinuskurve und wieder leicht erhöhtem Anteil von *Juniperus* und *Salix* den Baumpollenpart. *Artemisia* nimmt wieder zu. Die NBP-Typenzahl bleibt gering.

PAZ 10 (784—778): *Betula*-*Pinus*-Phase

Gute Pollenführung, geringer NBP-Anteil und die gemeinsame Dominanz von *Betula* und *Pinus* kennzeichnen diesen Abschnitt

PAZ 11 (778—734): *Pinus*-*Betula*-Phase

Das Pollendiagramm bietet nun ein ruhiges Bild. Gute Pollenführung und hoher Baumpollenanteil bestimmen den Abschnitt, der sedimentstratigraphisch durch das Auftreten des Laacher Bimstuffs nahe des oberen Endes charakterisiert ist. Am Anfang und gegen Ende — im Bereich der Tufflage — steigt der Birkenanteil vorübergehend auf 40%. *Artemisia*, *Filipendula* und *Apiaceae* überwiegen im mengenmässig zurücktretenden Kräuterspektrum. Erstmals treten *Quercus*, *Viburnum*, *Rhamnus*, *Cornus* und *Viscum* auf (Einzelfunde).

PAZ 12 (734–686): *Pinus*-Phase mit *Juniperus* und *Artemisia*

Sedimentstratigraphisch wäre eine Unterteilung des Abschnitts in einen unteren, tonreicheren Teil bis 716 cm und in einen oberen, tonärmeren Teil zu vertreten, doch lassen die geringen biostratigraphischen Differenzen die Beschreibung von PAZ 12 als Ganzes gerechtfertigt erscheinen. Auffallend ist die starke *Pinus*dominanz, die im oberen Teil durch das Ansteigen der *Betula*kurve etwas abgeschwächt wird. Die Werte von *Juniperus* und *Artemisia*, sowie anderer heliophiler Kräuter, sind deutlich erhöht. Im oberen Teil nimmt ihr Anteil wieder etwas ab und es tritt vermehrt Pollen von *Populus* auf.

PAZ 13 (686–659): *Pinus-Betula*-Phase mit Thermophilen

Die steil ansteigende *Betula*kurve schliesst zur abgesunkenen *Pinus*kurve auf. Von den übrigen lichtliebenden Gehölzen verzeichnet nur *Populus* eine Zunahme. Mit *Corylus*, *Alnus*, *Ulmus* und *Quercus* erscheint der Pollen wärmebedürftiger Gehölze. Die Kurven von *Corylus* und *Ulmus* steigen am Ende des Abschnitts steil an.

PAZ 14 (659–627): *Corylus-Pinus-Betula-Ulmus*-Phase

Bei erhöhter, wenngleich kräftig oszillierender Pollenführung steigt die *Corylus*kurve auf mehr als 50%. Der Anteil von *Pinus* und *Betula* nimmt rasch ab. Nach *Ulmus*, die bereits sehr hohe Werte erreicht, nehmen nun auch *Quercus* und wenig später *Tilia* zu. Die Kurven von *Fraxinus* und *Acer* sind noch nicht geschlossen. *Picea* findet sich in Spuren; *Populus* geht zurück und verschwindet dann; die geschlossene Kurve von *Hedera* beginnt.

PAZ 15 (627–556): *Corylus*-EMW-Phase

Sehr geringe NBP-Werte und absolute *Corylus*-Dominanz bestimmen diesen Abschnitt, in dem *Acer* mit geschlossener Kurve auftritt und in dessen Verlauf *Fraxinus* zunimmt. Weiterhin finden sich Spuren von *Picea*. *Pinus* und *Betula* weisen geringe Werte auf. *Potamogeton* und *Myriophyllum verticillatum/spicatum* haben geschlossene Kurven.

PAZ 16 (556–494): EMW-*Corylus*-Phase

Die EMW-Kurve schliesst zur leicht abgesunkenen *Corylus*kurve auf. Gegen Ende des Abschnitts nimmt *Alnus* zu. Neben *Picea* treten erste Spuren von *Abies* und – ganz oben – *Fagus* auf.

PAZ 17 (494–443): EMW-Phase mit *Alnus* und *Corylus*

Der *Corylus*anteil nimmt bei konstanten EMW-Werten rasch zugunsten von *Alnus* ab. Pollen von *Frangula* tritt regelmässig auf.

PAZ 18 (443–381): EMW-*Alnus*-Phase mit *Corylus* und *Fagus*

EMW und *Alnus* beherrschen das Pollenspektrum. *Corylus* hat Werte um 20%, *Frangula*, *Rhamnus*, *Abies*, *Picea* und *Fagus* haben geschlossene Kurven. Der im vorigen Abschnitt begonnene Polypodiaceenanstieg setzt sich fort.

PAZ 19 (381–336): *Alnus*-EMW-*Fagus*-Phase

Alnus, EMW und *Fagus* – diese mit rasch angestiegener Kurve – liefern die Hauptmasse des Pollens. Neben dem reichen Gehölzspektrum fällt ein gestiegener Cyperaceenanteil auf. Pollen von *Nymphaea*, *Nuphar*, *Sparganium*, *Typha* und *Cladium* tritt gehäuft auf. Die Polypodiaceenkurve erreicht 10%.

PAZ 20 (336–289): *Fagus-Alnus*-EMW-Phase mit Kultur- und Verlandungszeigern

PAZ 21 (289–265): *Alnus*-Phase

PAZ 22 (265–245): *Alnus-Abies*-EMW-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 23 (245–175): Cyperaceenphase mit *Alnus* und Kulturzeigern

PAZ 24 (175– 65): *Alnus*-Phase mit *Fagus*, *Quercus* und Kulturzeigern

PAZ 25 (65– 45): Gräser-Sauergräser-Phase mit Kulturzeigern und *Juglans*

PAZ 26 (45– 15): Sauergräser-Phase mit *Carpinus* und Kulturzeigern

PAZ 27 (15– 0): Birkenphase mit Kulturzeigern

Nu 2 (Abbildung 22):

Lage des Bohrpunktes: am Nordufer des Hüttwiler Sees südöstlich von «Stockrüti», unmittelbar am Ufer; Koordinaten des Bohrpunktes: 705 350 / 274 550; die Profiloberkante entspricht der Wasserspiegelhöhe. Bohrung am 4. Oktober 1979 durch G. Lang, A. Hofmann und M. Rösch mit Streif-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

- 0–100 dunkelrotbrauner bis schwarzer, sehr stark zersetzter Bruchwaldtorf, unten vereinzelt mit M, mit massivem Holzstück von *Alnus glutinosa* zwischen 60 und 72
- 100–115 schwarzbraune Grobdetritusgyttja mit vielen grossen Resten (vor allem Holz), mit M, leicht kalkhaltig
- 115–136 graue, sehr heterogene Grobdetritusgyttja mit Holz von *Alnus glutinosa* und Steinen
- 136–209 rotbraune bis dunkelbraune Grobdetritusgyttja mit M, mit Holz; von 192 bis 200 massives Holzstück
- 209–251 Grobkies und Sand, vermischt mit grauer Grobdetritusgyttja und Molluskenschalen
- 251–282 hellgraue, sandig-tonige Kalkgyttja bis Tongyttja
- 282–310 sehr tonige Tongyttja mit M
- 310–400 Seekreide, stark tonig von 380 bis 386, leicht tonig von 310 bis 330 und von 386 bis 400; fein geschichtet zwischen 330 und 380; Farbe weisslich mit Einschlag ins Graue, Gelbe oder Beige
- 400–419 graubraune, tonige Kalkgyttja mit dunkelbraunen, organischen Einschlüssen und Bändern mit M und vielen Radizellen
- 419–429 olivgrauer, humoser Ton mit M
- 429–471 grauer, schluffiger Ton mit schwarzen Schlieren und Pflanzenresten, mit M
- 471–500 grauer, schmieriger Ton
- 500–550 sandig-schluffiger Ton, unten mit Kies
- 550–600 rostbrauner, wässriger Grobsand, der zum grossen Teil ausgelaufen war.

Diagrammgliederung:

PAZ 1 (550–515): Phase geschlossener Rasen

PAZ 2 (515–495): *Pinus-Betula*-NBP-Phase

PAZ 3 (495–465): Rasen-Phase mit Zwergsträuchern

PAZ 4 (465–455): Rasen-Zwergstrauch-Phase

Die Pollenfürung steigt sprunghaft an; der Kräuteranteil ist sehr hoch, und der Cyperaceenanteil geht zurück. Pollenfunde von Hochstauden und Wiesenpflanzen häufen sich.

PAZ 5 (455–442): Rasenphase mit Zwergsträuchern und *Juniperus*

Im Vergleich zum vorigen Abschnitt nehmen die Pollenkonzentration und die Anteile von *Salix* und *Juniperus* kräftig zu. Der Gehölzpollenanteil liegt aber noch unter 30%.

PAZ 6 (442–427): *Juniperus*-Zwergstrauch-Phase

Bei ständig wachsender Pollendichte steigt die Juniperuskurve nun steil an auf 70%. Auch *Salix* nimmt noch etwas zu, aber *Betula* geht zurück. Die Kurve von *Hippophaë* setzt ein. Der Baumpollenanteil erreicht 80%. Schwere Einbussen erleiden: *Cyperaceae*, Kräuter insgesamt, *Thalictrum*, *Artemisia*, *Helianthemum*, *Rumex*, *Potamogeton* und *Selaginella*.

PAZ 7 (427–408): *Juniperus-Betula*-Phase

Bei sehr hohem Pollengehalt fällt die Juniperuskurve von 80% am Beginn des Abschnitts auf 40% am Ende und schneidet dort die ansteigende Betulakurve. Den Beginn des Juniperusabstiegs markiert ein Gräsergipfel. Der Kräuteranteil geht weiter zurück. Die Werte von *Hippophaë* sind noch hoch.

PAZ 8 (408–389,5): *Betula*-Phase

Betuladominanz bei hohem Baumpollenanteil und weiter sinkender Juniperuskurve kennzeichnen diesen Abschnitt. Auch die Kurve von *Hippophaë* geht zurück.

PAZ 9 (389,5–387,5): *Betula*-Phase mit Lichtungszeigern

Die Pollenkonzentration sinkt etwas ab und mit ihr der Baumpollenanteil und die Betulakurve. Zugleich nehmen *Pinus*, die Gräser, Kräuter und *Selaginella selaginoides* zu. Erneut findet sich Pollen von *Helianthemum*.

PAZ 10 (387,5–384,5): *Betula-Pinus*-Phase mit Lichtungszeigern

Bei abnehmendem Pollengehalt geht auch der Baumpollenanteil zurück auf 70%. Die

Betulakurve sinkt weiter, die von *Pinus* hat zunächst einen Gipfel und fällt dann wieder ab. Stattdessen nehmen *Salix* und am Ende des Abschnitts auch *Juniperus* zu. Die Anteile der Gräser und Kräuter sind erhöht.

PAZ 11 (384,5–381,5): *Betula*-Phase mit *Pinus*

Bei steigendem Pollengehalt schnellte die Betulakurve zu Beginn des Abschnitts empor auf den Stand von PAZ 8. Danach steigt die Pinuskurve etwas weniger steil und schneidet am Beginn des folgenden Abschnitts die erneut sinkende Betulakurve. Der Baumpollenanteil nimmt zu, erreicht jedoch erst gegen Ende des Abschnitts den Stand von PAZ 8. Die Lichtzeiger gehen zurück.

PAZ 12 (381,5–367): *Pinus-Betula*-Phase

Die Pollenkonzentration steigt, ebenso der Baumpollenanteil und die Pinuskurve. Die Betulakurve sinkt ab. *Juniperus* hat nur noch sehr geringe Werte.

PAZ 13 (367–347): *Pinus*-Phase mit *Betula*

Sehr hohe Pollendichte, wenig NBP und Pinusdominanz (bis 90%) kennzeichnen den Abschnitt.

PAZ 14 (347–303): *Pinus-Betula*-Phase

Die Pollenkonzentration schwankt stark, der Pinusanteil geht auf 80% zurück, und die Betulakurve steigt bei hohem Baumpollenanteil leicht an.

PAZ 15 (303–252): *Pinus*-Phase mit Lichtungszeigern

Im Verlauf des Abschnitts geht der Baumpollenanteil, gegen Ende auch die Pinuskurve, zurück; Gräser und Kräuter (vor allem) *Artemisia* nehmen zu, ebenso *Juniperus*. Die Kurve von *Hippophaë* setzt wieder ein. Am oberen Ende des Abschnitts häufen sich die Funde von *Populus*. *Sphagnum* erreicht Werte bis 4%.

PAZ 16 (252–247): *Pinus*-Phase mit *Betula*

Im Vergleich zum vorigen Abschnitt ist der Anteil von *Betula* leicht erhöht.

PAZ 17 (247–242): *Alnus-Pinus*-Phase

PAZ 18 (242–198): EMW-Phase mit *Fagus*, *Alnus*, *Corylus* und Kulturzeigern

PAZ 19 (198–168): *Alnus*-Phase mit *Fagus*, EMW und Kulturzeigern

PAZ 20 (168– 98): *Alnus*-Phase mit Verlandungs- und Kulturzeigern

PAZ 21 (98– 0): *Alnus*-Phase mit Verlandungszeigern, *Carpinus* und vielen Kulturzeigern

Nu 3 (Abbildung 23):

Lage des Bohrpunktes: Am Südufer des Hüttwiler Sees NO der Ruine Hälftenberg im Bruchwald, 5 m vom Ufer entfernt; Koordinaten des Bohrpunktes: 705 300/274 375; die Profiloberkante liegt 1 m über dem Wasserspiegel. Bohrung am 24. Mai 1980 durch M. und S. Rösch mit Streif-Kolbenbohrer;

Stratigraphie: (cm)

- 0– 22 dunkelrotbrauner bis schwarzer, stark zersetzter Torf mit Reisern
- 22– 34 gelbroter, schwach zersetzter Torf
- 34– 49 schwarzbrauner, stark zersetzter Torf
- 49– 75 brauner, mässig zersetzter Radizellentorf
- 75–170 Bruchwaldtorf mit Reisern von *Alnus glutinosa*; Zersetzungsgrad und Schwärze nehmen nach unten zu. An der Basis ist er schwarz und völlig zersetzt.
- 170–205 weisse, schmierige, leicht tonige Seekreide mit Wurzeln von *Alnus glutinosa*
- 205–330 grauer, schmieriger Ton mit Wurzeln von *Alnus glutinosa* bis 220.

Diagrammgliederung:

PAZ 0 (350–215): Das nahezu völlige Fehlen von Pollen im Sediment erlaubt keine Beurteilung.

PAZ 1 (215–202): *Juniperus*-Phase mit *Betula*

PAZ 2 (202–182): *Pinus*-Phase mit *Betula*

PAZ 3 (182–167): *Pinus*-Phase mit *Alnus* und *Betula*

PAZ 4 (167–157): *Alnus*-Phase mit *Pinus* und EMW

PAZ 5 (157–145): *Alnus*-Phase mit *Corylus*

- PAZ 6 (145– 85): *Alnus*-Phase mit Verlandungs- und Kulturzeigern
 PAZ 7 (85– 35): *Alnus-Corylus*-Phase mit *Quercus*, Kultur- und Verlandungszeigern
 PAZ 8 (35– 0): *Alnus-Pinus*-Phase mit Kulturzeigern

Nu 4 (Abbildung 24):

Lage des Bohrpunktes: Im Zentrum des Bürgerried, einer nassen Senke zwischen Hüttwiler See und Hasensee, SO der Ruine Hälfenberg; der zentrale Teil dieser Senke wird nicht intensiv genutzt (Streuwiesen). Koordinaten des Bohrpunktes: 705 025 / 274 075; Die Profiloberkante liegt 70 cm über dem Wasserspiegel. Bohrung am 26. Juni 1980 durch *G. Lang*, *M. Rösch* und *C. Scherrer* mit *Streif*-Kolbenbohrer
 Stratigraphie: (cm)

- 0–340 dunkelbrauner, mittelstark zersetzter Radzellentorf, die oberen 38 cm stark zersetzt und mit Reisern, von 190–300 mit zahlreichen *Eriophorum*-Sklerenchymspindeln
- 340–360 Grobdetritusgyttja
- 360–395 Braunmoostorf (vor allem *Meesea triquetra* und *Campylium stellatum*)
- 395–430 schwarzbraune Grobdetritusgyttja, unten heller werdend
- 430–685 olivgrüne bis braune Feindetritusgyttja
- 685–722 olivbraune Feindetritusgyttja mit zahlreichen dünnen, hellgrauen bis sandfarbenen mineralischen Bändern;
- 722–722,3 Laacher Bimstuff, grau
- 722,3–760 braune, lebhaft gebänderte Feindetritusgyttja (etwa 25 Bänder von weniger als 1 mm bis 8 mm Breite in den Farben rosa und olive)
- 760–767 hellgraubrauner, humoser Ton
- 767–826 grauer Ton
- 826–880 kompakter Ton mit Feinsand
- 880–900 toniger Feinsand

Diagrammgliederung:

- PAZ 1 (900–892): Pionierphase
- PAZ 2 (892–835): Phase geschlossener Rasen
- PAZ 3 (835–795): Rasen-Phase mit Zwergsträuchern
- PAZ 4 (795–775): Rasen-Zwergstrauch-Phase
- PAZ 5 (775–766): *Juniperus*-Phase
- PAZ 6 (766–758): *Juniperus-Betula*-Phase
- PAZ 7 (758–748): *Betula*-Phase
- PAZ 8 (748–718): *Pinus-Betula*-Phase
- PAZ 9 (718–688): *Pinus*-Phase
- PAZ 10 (688–635): *Pinus-Betula*-Phase mit Thermophilen
- PAZ 11 (635–615): *Pinus-Betula-Corylus*-Phase
- PAZ 12 (615–565): *Corylus*-Phase mit *Betula*, *Pinus* und EMW
- PAZ 13 (565–465): *Corylus*-Phase mit EMW
- PAZ 14 (465–405): *Corylus*-EMW-Phase
- PAZ 15 (405–355): EMW-*Corylus-Alnus*-Phase mit *Fagus*
- PAZ 16 (355–320): EMW-*Corylus*-Phase mit *Alnus* und *Fagus*
- PAZ 17 (320–273): EMW-*Fagus-Alnus*-Phase mit *Corylus*
- PAZ 18 (273–253): *Corylus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern
- PAZ 19 (253–238): *Fagus-Alnus*-Phase
- PAZ 20 (238–205): *Corylus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern
- PAZ 21 (205–175): *Fagus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern
- PAZ 22 (175–145): *Fagus-Alnus-Corylus*-Phase mit Kultur- und Verlandungszeigern
- PAZ 23 (145– 95): *Alnus-Cyperaceae*-Gräser-Phase
- PAZ 24 (95– 65): Cyperaceenphase mit *Quercus* und Kulturzeigern
- PAZ 25 (65– 35): Cyperaceae-*Alnus*-Phase mit *Picea* und *Carpinus*

PAZ 26 (35– 15): Cyperaceae-Phase mit *Alnus*, *Fagus* und *Picea*
PAZ 27 (15– 0): Gräser-Kulturzeiger-Phase mit *Picea* und *Pinus*

Nu 5 (Abbildung 25):

Lage des Bohrpunktes: In der Mitte des Hüttwiler Sees zwischen «Stockrüti» und Ruine Hälfenberg; Koordinaten des Bohrpunktes: 705 300/274 450; gemessene Wassertiefe 7,25 m; Materialentnahme ab 7,35 m; gebohrt am 31. Juli 1980 durch M. und S. Rösch mit Merkt-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

735– 835 ausgelaufen

835– 940 hellolivbraune bis graubraune, kalkhaltige, schwach tonige Gytja

940– 970 olivgraue, kalkhaltige Gytja

970–1002 dunkelolivgraue, schwach kalkhaltige Gytja

1002–1095 olivgraue, kalkhaltige Gytja

Abbruch der Bohrung, da wegen stark erhöhten Bohrwiderstandes die Verankerung des Boots nachgab und infolgedessen das Bohrgestänge schräg auskeilte.

Diagrammgliederung:

PAZ 1 (1095–1045): *Fagus*-Phase

PAZ 2 (1045–1005): *Corylus-Fagus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 3 (1005– 948): *Fagus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 4 (948– 933): *Alnus-Fagus*-Phase

PAZ 5 (933– 895): *Fagus*-Phase mit *Carpinus*

PAZ 6 (895– 865): *Quercus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 7 (865– 845): *Fagus-Alnus-Carpinus*-Phase

PAZ 8 (845– 835): *Quercus-Juniperus*-Kulturzeiger-Phase

Nu 6 (Abbildung 26):

Lage des Bohrpunktes: Im Hüttwiler See zwischen Nu 5 und Nu 3, etwa 10 m vom südlichen Seeufer entfernt; Koordinaten des Bohrpunktes: 705 275/274 400; gemessene Wassertiefe: 4,25 m; Materialentnahme ab 4,40 m; Gebohrt am 31. Juli 1980 durch M. und S. Rösch mit Merkt-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

440–520 hellbraungraue, sehr heterogene, schwach tonige Kalkgyttja mit Reiseren; Die Kalkkongregationen sind röhrenförmig, mit etwa 0,5 mm Durchmesser und bis zu 1 cm Länge. Vielleicht geht ihre Bildung auf Cyanophyceen zurück (Onkoidkalke, vergleiche (88), (42))

520–540 dunkelgraue, kalkhaltige Gytja

540–632 dunkelgraugrüne, schlammige Gytja mit Sand und Steinen

632–653 graubraune, sandig-tonige Kalkgyttja

653–662 hellgraue, stark tonige Kalkgyttja

662–667 dunkelgraue, kalkhaltige, sandige Gytja

667–673 hellgraubraune, tonige Kalkgyttja

673–682 graubraune, kalkhaltige Tongyttja mit vielen grossen Muschelschalen (in 2 Lagen: 674–676 und 678–682)

682–700 grauer, kalkhaltiger, humoser Ton

700–740 grauer Ton

Alle Schichten des Profils enthalten Konchilien, der basale Ton allerdings nur spärlich.

Diagrammgliederung:

PAZ 0 (740–700): Das Sediment ist nahezu pollenfrei.

PAZ 1 (700–688): Rasen-Zwergstrauch-Phase mit Ausbreitung von *Juniperus*

PAZ 2 (688–681): *Juniperus*-Phase

PAZ 3 (681–655): *Fagus-Alnus*-EMW-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 4 (655–637): *Alnus-Fagus-Carpinus-Fraxinus*-Phase

PAZ 5 (637–545): *Quercus-Juniperus*-Kulturzeiger-Phase

PAZ 6 (545–475): *Quercus-Pinus-Picea*-Kulturzeiger-Phase

PAZ 7 (475–455): Kulturzeiger-*Quercus-Pinus*-Phase

PAZ 8 (455–440): *Alnus-Fagus-Quercus-Pinus-Betula-Picea*-Gräser-Phase

Nu 7 (Abbildung 27):

Lage des Bohrpunktes: In der Mitte des Uerschhauser Beckens des Nussbaumer Sees; Koordinaten des Bohrpunktes: 703 350 / 274 750; gemessene Wassertiefe: 6,70 m; Materialentnahme ab 6,90 m (Parallelbohrung, bei 6,40 m Wassertiefe, ab 6,40 m); gebohrt am 1. August 1980 durch *M. und S. Rösch* mit *Merkt*-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

640– 780 schwarzer, nach Oxidation gelber, toniger Faulschlamm

780–1270 braune, stellenweise nach oliv oxidierende Gytja, die nach unten immer fester und trockener wird

Der Faulschlamm und die oberen Partien der Gytja enthalten viel Diatomeen und fädige Grünalgen. Die Bohrung wurde abgebrochen, da wegen des grossen Bohrwiderstandes das Gestänge schräg auskeilte.

Diagrammgliederung:

PAZ 1 (1270–1255): *Corylus-Alnus-Fagus*-EMW-Phase (mit Kulturzeigern)

PAZ 2 (1255–1205): *Corylus*-EMW-Kräuter-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 3 (1205–1195): *Corylus-Alnus*-Phase

PAZ 4 (1195–1165): *Corylus-Alnus*-Kräuter-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 5 (1165–1135): *Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 6 (1135–1115): *Fagus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 7 (1115–1025): *Corylus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 8 (1025– 965): *Fagus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 9 (965– 945): *Alnus-Fagus*-Phase mit Kulturzeigern und Gräsern

PAZ 10 (945– 845): *Fagus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern und Gräsern

PAZ 11 (845– 785): *Quercus-Alnus-Carpinus-Fagus*-Phase mit Kulturzeigern

PAZ 12 (785– 745): *Quercus-Juniperus*-Kulturzeiger-Phase

PAZ 13 (745– 675): *Humulus/Cannabis*-Phase mit *Pinus*, *Quercus* und *Picea*

PAZ 14 (675– 650): *Pinus-Picea*-Kulturzeiger-Phase

Nu 8 (Abbildung 28):

Lage des Bohrpunktes: In der Mitte des Ostbeckens des Nussbaumer Sees; Koordinaten des Bohrpunktes: 704 050 / 274 700; gemessene Wassertiefe: 3,35 m; Materialentnahme ab 3,35 m; gebohrt am 16./17. September 1980 durch *M. Rösch*, *K. Ruch* und *M. Rüfenacht* mit *Merkt*-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

335– 565 schwarzer, nach Oxidation gelber, stark toniger Faulschlamm

565– 595 hellgelbbraune Kalkgyttja mit Sapropelanteil

595– 695 graubraune, kalkhaltige Gytja

695– 725 Kalkgyttja, bis 708 hellgraubraun, von 708 bis 718 hellbeige, dann bis 725 rotgelb

725– 810 kalkhaltige Gytja, bis 730 olivgrün, dann dunkelgrau, nach unten dunkler werdend

810– 840 Kalkgyttja, bis 825 blassoliv, dann graubraun

840–1090 dunkelgraue, kalkhaltige Gytja

1090–1147 schwarzbraune, sehr feste, trockene, fast kalkfreie Gytja

1147–1148 Laacher Bimstuff (blassoliv)

1148–1155 schwarze, sehr kompakte Gytja

1155–1160 blassoliver, humoser Ton

1160–1245 grauer Ton mit schwarzen Schlieren

Abbruch der Bohrung ohne Bohrwiderstand

Diagrammgliederung:

PAZ 1 (1185–1156,5): Rasen-Zwergstrauch-Phase

Bei sehr geringer Pollendichte überwiegen die NBP. Besonders *Artemisia*, *Helianthemum*, *Thalictrum* und die *Chenopodiaceae* sind hervorzuheben. Das Gehölzdiagramm wird von *Betula* dominiert.

PAZ 2 (1156,5–1154,5): *Juniperus*-Phase

Der Gehölzpollenanteil steigt rasch auf 80%, während die Kräuter, Gräser und Sauergräser zurückgehen. Die *Juniperus*-Kurve gipfelt mit 50%, fällt dann wieder ab und schneidet am Ende des Abschnitts die nun ansteigende *Betula*-Kurve. Zugleich haben wir einen *Hippophaë*-Gipfel. Der Pollengehalt steigt.

PAZ 3 (1154,5–1148): *Betula*-Phase

Dominanz von *Betula* bei weiter zunehmendem Gehölzpollenanteil kennzeichnet diesen Abschnitt. Die Werte von *Juniperus*, *Hippophaë* und *Salix* sind gering. Der Schnittpunkt der sinkenden *Betula*-Kurve mit der ansteigenden *Pinus*-Kurve bildet die Grenze zum folgenden Abschnitt.

PAZ 4 (1148–1140): *Pinus*-Phase

Pinus dominiert vor *Betula* bei leicht gestiegenen Kurven von *Juniperus* und *Artemisia*. Der Pollengehalt nimmt stark zu. Die Kurven von *Pinus* und *Betula* verlaufen komplementär.

PAZ 5 (1140–1133): *Betula-Pinus-Corylus*-Phase

Bei sehr grosser Pollendichte und hohem Gehölzpollenanteil schneidet die ansteigende *Betula*-Kurve die fallende Kurve von *Pinus*. Gleichzeitig stellen sich thermophile Gehölze ein. Der Anteil von *Corylus* nimmt rasch zu. *Populus*, schon in den beiden vorigen Abschnitten nachzuweisen, gewinnt an Bedeutung.

PAZ 6 (1133–1090): *Corylus*-EMW-Phase

Ein *Corylus*-Gipfel mit seinem Maximum (60%) bei 1110 bestimmt diesen Abschnitt. Nur noch der EMW, dessen sämtlicher Komponenten Kurven rasch an Höhe gewinnen, hat daneben beträchtlichen Anteil am Pollenspektrum. Die Kurven von *Pinus* und *Betula* fallen ab, ebenso die der übrigen Lichthölzer. Zu Beginn des Abschnitts erreicht die Pollendichte die höchsten Werte des ganzen Profils, geht dann aber zurück. Nichtbaumpollen ist spärlich. Die Kurven von *Hedera* und *Viscum* setzen ein.

PAZ 7 (1090–1030): EMW-*Corylus-Alnus*-Phase

Der EMW-Pollen überwiegt vor dem vermindert auftretenden *Corylus*-Pollen. Die *Alnus*-Kurve steigt an. Pollen von *Picea*, *Abies* und *Fagus* tritt regelmässig auf. *Hedera* erreicht ihr Maximum und geht dann leicht zurück. Die Pollendichte ist nun ziemlich gering.

PAZ 8 (1030–968): EMW-*Fagus-Alnus*-Phase

Während der Anteil von *Corylus* weiter zurückgeht, steigt die *Fagus*-Kurve an und schneidet die leicht abgesunkene Kurve des EMW. Die Kurven von *Tilia* (zu Beginn des Abschnitts), *Ulmus* und *Fraxinus* (in der Mitte) fallen auf die halben Werte ab. Der Anteil von *Hedera* geht weiter zurück. Die unterholzbildenden Arten sind noch gut vertreten. Die Pollendichte ist leicht erhöht.

PAZ 9 (968–910): *Corylus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

Verbunden mit einem sekundären *Corylus*-Gipfel ist die Zunahme von *Salix*, *Picea*, *Abies*, *Acer* und Kräuterpollen, während die *Fagus*-Kurve abfällt. Dies geschieht auch mit *Fraxinus*, *Tilia* und *Ulmus*, deren Kurven sich wiederum halbieren, und zwar diesmal synchron. Erste Spuren von *Cerealia* und *Plantago lanceolata* sind zu verzeichnen. Die Pollenkonzentration sinkt. Bei den Kräutern fällt die Zunahme von Hochstauden, Mesophilen und Nässezeigern auf.

PAZ 10 (910–880): *Alnus-Fagus*-Phase

Bei abgesunkenen *Corylus*-Werten überwiegt nun *Alnus*, dann *Fagus*. *Hedera*, *Tilia* und *Ulmus* nehmen vorübergehend leicht zu. Kulturzeiger sind spärlich. Die Pollendichte ist gering.

PAZ 11 (880–820): *Corylus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

Ein weiterer sekundärer *Corylus*-Gipfel, verknüpft mit dem Rückgang von *Fagus* und der Zunahme von *Salix* und anderen Lichthölzern bezeichnen diesen Abschnitt, an dessen Ende die Kurve von *Abies* leicht ansteigt und die von *Tilia* und *Ulmus* weiter abnehmen. Der Pollengehalt ist etwas erhöht. Pollen von Nässezeigern und Wasserpflanzen wird seltener.

PAZ 12 (820–770): *Fagus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

Fagus dominiert vor *Alnus* und dem rarer gewordenen *Corylus*. Pollen von *Hedera* fin-

det sich nurmehr vereinzelt. Die Werte von *Picea*, *Abies* und *Quercus* sind leicht erhöht. Pollen von *Cerealia* wird etwas häufiger.

PAZ 13 (770–720): *Fagus-Alnus*-Phase

Die *Fagus*dominanz setzt sich fort und wird erst am Ende des Abschnitts durch den Rückgang der *Fagus*kurve bei gleichzeitigem *Alnus*anstieg beendet. Zu diesem Zeitpunkt endet auch die geschlossene *Tilia*kurve, *Picea* und *Abies* gehen zurück und die zuvor sehr spärlichen Kulturzeiger mehren sich.

PAZ 14 (720–660): *Alnus-Fagus*-Phase mit Kulturzeigern und Gräsern

Bei geringem Pollengehalt, leicht vermehrtem *Corylus*anteil und Zunahme des Kräuterpollens dominiert zuerst *Fagus*, dann *Alnus*. Mit Beginn des Abschnitts setzt die geschlossene *Carpinus*kurve ein. Der Pollengehalt sinkt weiter ab.

PAZ 15 (660–610): *Quercus-Alnus*-Phase mit Kulturzeigern

Ein doppelter *Quercus*gipfel, unterbrochen von einem *Alnus-Betula*-Gipfel, prägt diesen Abschnitt. Nach dem ersten *Quercus*gipfel setzen die Kurven von *Secale* und *Juglans* ein. Der Anteil der Kulturzeiger sowie von *Juniperus* und *Salix* ist angewachsen. Wasserpflanzen und Nässezeiger werden allmählich etwas häufiger.

PAZ 16 (610–560): *Alnus-Fagus-Carpinus*-Phase

Synchrone Gipfel von *Carpinus* (10%), *Fagus* (20%) und *Fraxinus* (3%) mit den Maxima jeweils in der Mitte des Abschnitts bei gleichzeitiger Zunahme von *Ulmus* und Rückgang von *Quercus*, *Juniperus*, *Salix* und den Kräutern charakterisieren diesen Abschnitt. Das Minimum der Kulturzeiger ist mit dem *Carpinus*maximum synchron. Der Pollengehalt wird sehr gering.

PAZ 17 (560–490): *Humulus/Cannabis*-Phase mit *Quercus*

Der Rückgang des Baumpollenanteils unter 40%, hervorgerufen durch die starke Zunahme des Kräuterpollens, verändern das Pollenspektrum sehr. Dabei fällt besonders der Anstieg von *Humulus/Cannabis* auf Werte bis 60% auf. Auch die übrigen Kulturzeiger nehmen zu. Die Kurven von *Juglans*, *Juniperus* (bis 4%), *Quercus* (nur im unteren Teil), *Salix* und *Pinus* steigen, die von *Carpinus*, *Fraxinus* und *Fagus* gehen zurück, die *Ulmus*kurve setzt aus. Die Pollendichte wird viel geringer.

PAZ 18 (490–410): *Humulus/Cannabis*-Phase mit *Pinus* und *Picea*

Bei weiter geringen Baumpollenwerten und einem *Humulus/Cannabis*-Anteil von durchschnittlich 30% hat nun *Pinus* den Hauptanteil am Baumpollenspektrum. Die Kurven von *Quercus* und *Juniperus* sinken. Die Werte von *Picea* liegen um 5%. Am oberen Ende des Abschnitts steigt der Baumpollenanteil vorübergehend leicht an und mit ihm die Kurven von *Alnus*, *Betula*, *Salix* und *Fraxinus*. Zugleich mehren sich bei den Kräutern die Nässezeiger, Hochstauden und Mesophilen. Pollenfunde von *Tilia* werden wieder häufiger. Der Pollengehalt ist weiter abgesunken.

PAZ 19 (410–360): Kulturzeiger-Gräser-Phase mit *Pinus* und *Picea*

Der Baumpollenanteil steigt geringfügig, während der Pollengehalt weiter zurückgeht, doch wird der Abfall der *Humulus/Cannabis*-Kurve teilweise durch die Zunahme anderer Kräuter (Typenzahl zwischen 20 und 30!) und der Gräser, insbesondere der *Cerealia*, kompensiert. Die Kurven von *Picea* und *Fraxinus* steigen leicht an. Die Pollenkonzentration ist vor allem am unteren und oberen Ende extrem gering. Von den zahlreichen Kräutern und Kulturzeigern seien nur *Trifolium*, *Onobrychis*-Typ, *Centaurea jacea*-Typ, *Papaveraceae*, *Polygonum aviculare*, *Orlaya grandiflora* und *Centaurea cyanus* herausgegriffen. Am oberen Ende des Abschnitts sind mit *Aesculus hippocastanum* und *Nicotiana tabacum* zwei Neophyten vertreten, die diesem Horizont ein Maximalalter von 200 BP zuweisen.

PAZ 20 (360–335): Kulturzeiger-Phase mit *Picea* und *Cerealia*

Der Baumpollenanteil beträgt hier gut 50%; die Pollenkonzentration ist sehr gering. Die *Picea*kurve überschreitet die 5%-Marke. In der obersten Probe konnten 2 Pollenkörner von *Zea mays* nachgewiesen werden. Der Anteil des Getreidepollens ist höher als 4%.

Nu 9 (Abbildung 29):

Lage des Bohrpunktes: Im Verlandungsbereich zwischen Nussbaumer und Hüttwiler See 100 m nördlich von Nu 1; Koordinaten des Bohrpunktes: 704 700 / 274 625. Die Oberkante des Profils liegt 80 cm über dem Wasserspiegel. Gebohrt am 4. / 5. Oktober 1980 durch M. und S. Rösch mit Streif-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

- 0—270 Radzellentorf, oben stark tonig, bis 70 dunkelrotbraun und stark zersetzt, bis 133 dunkler und weniger zersetzt, dann bis 255 schwarz und mittelstark zersetzt, mit Schilf, von 255 bis 270 dunkelgraubraun und sehr stark zersetzt
- 270— 415 schwarzer, stark zersetzter Bruchwaldtorf mit Reisern und viel Holz von *Alnus glutinosa*
- 415— 565 schwarzer, sehr stark zersetzter Bruchwaldtorf bis Grobdetritusgyttja, im oberen Teil mit Schilf und Wurzeln von *Alnus glutinosa*
- 565— 637 schwarzbraune Grobdetritusgyttja mit M
- 637— 685 dunkelgraue Grobdetritusgyttja mit M; auch alle liegenden Schichten enthalten Konchylien
- 685— 808 Kalkgyttja, bis 711 olivgrau, von 711 bis 780 hellbraungrau, dann bis 808 graubraun
- 808— 817 dunkelgraubraune, kalkhaltige Gyttja
- 817— 912 stark gebänderte Kalkgyttja bis Gyttja mit wechselndem Kalkgehalt in den Farben dunkelgraubraun, graubraun, hellbraungrau, oliv und blassoliv
- 912— 928 weisse Seekreide
- 928— 991 hellbraungraue, graubraune und hellolivbraune Kalkgyttja im Wechsel mit dunkelgraubrauner bis schwarzer, kalkarmer Gyttja; Schichtmächtigkeit zwischen 3 und 10 cm
- 991—1002 dunkelolivgraue, sehr kalkarme Gyttja, nach unten dunkler werdend
- 1002—1023 mehrfacher Wechsel von hellolivgrauer, toniger Kalkgyttja und dunkelolivgrauer, kalkarmer Gyttja; Schichtmächtigkeit zwischen 0,3 und 4 cm; alles leicht tonhaltig
- 1023—1025 hellgraue, tonige Seekreide
- 1025—1026 hellgelbbraune, tonige Kalkgyttja
- 1026—1027 schwarze, kalkfreie, tonige Gyttja
- 1027—1030 graubraune, kalkhaltige, tonige Gyttja
- 1030—1034 schwarze, kalkfreie, tonige Gyttja
- 1034—1037 dunkelolivgraue, kalkarme, tonige Gyttja
- 1037—1039 olivgraue Tongyttja
- 1039—1100 grauer Ton

Die Bohrung wurde bis 15 m abgeteuft und ohne Erreichen eines unüberwindlichen Bohrwiderstandes abgebrochen, doch gelangten die basalen 4 m nicht zur Untersuchung.

Diagrammgliederung:

- PAZ 1 (1070—1055): Rasen-Zwergstrauch-Phase
- PAZ 2 (1055—1043): Zwergstrauch-Rasen-Phase mit *Juniperus*
- PAZ 3 (1043—1039): *Juniperus*-Phase
- PAZ 4 (1039—1033): *Betula*-Phase
- PAZ 5 (1033—1021): *Pinus*-Phase
- PAZ 6 (1021—1005): *Pinus*-Phase mit *Betula*
- PAZ 7 (1005— 987): *Pinus-Betula*-Phase mit Thermophilen
- PAZ 8 (987— 925): *Corylus*-Phase mit *Pinus*, *Betula*, *Quercus* und *Ulmus*
- PAZ 9 (925— 835): *Corylus*-EMW-Phase
- PAZ 10 (835— 795): EMW-Phase mit *Corylus* und *Alnus*
- PAZ 11 (795— 665): EMW-*Alnus*-Phase mit *Fagus*
- PAZ 12 (665— 555): *Alnus*-EMW-*Fagus*-Phase
- PAZ 13 (555— 495): *Alnus*-EMW-*Fagus*-Phase mit Verlandungszeigern

- PAZ 14 (495– 365): *Alnus*-EMW-Phase mit Verlandungszeigern
 PAZ 15 (365– 335): *Alnus*-Phase
 PAZ 16 (335– 275): *Alnus*-*Fagus*-Phase
 PAZ 17 (275– 205): Cyperaceen-*Alnus-Quercus*-Phase
 PAZ 18 (205– 165): *Fagus*-Gräser-Phase
 PAZ 19 (165– 145): *Fagus-Alnus-Cyperaceae*-Phase
 PAZ 20 (145– 95): Cyperaceae-*Alnus*-Phase
 PAZ 21 (95– 35): Cyperaceae-*Alnus*-Phase mit *Carpinus*
 PAZ 22 (35– 0): Cyperaceae-*Pinus-Picea*-Phase

NU 10 (Abbildung 30):

Lage des Bohrpunktes: An der Nordwestecke des Hüttwiler Sees, SO «Obersee»;
 Koordinaten des Bohrpunktes: 704 900/ 274 625; Wassertiefe 10 cm; Materialent-
 nahme ab 10 cm unter der Wasseroberfläche; Bohrung am 21. Juli 1981 durch *M.*
 und *S. Rösch* mit *Streif-Merkt*-Kolbenbohrer.

Stratigraphie: (cm)

- 0– 50 braune, kalkhaltige Grobdetritusgyttja
 50–217 hellgraue, ziemlich wässrige Seekreide mit Radizellen, die unteren
 27 cm kompakter und fossilärmer
 217–225 hellgraue Kalkgyttja
 225–255 Seekreide, bis 236 blassgelb, dann hellgrau bis 250, dann wieder
 blassgelb
 255–260 dunkelgraue Kalkgyttja
 260–288 Seekreide, bis 268 blassgelb, dann hellgrau
 288–291 dunkelgraue Kalkgyttja
 291–327 Seekreide, bis 315 hellgrau, dann blassgelb
 327–355 dunkelgraue Kalkgyttja
 355–380 Seekreide, hellgrau
 380–385 dunkelgraue Kalkgyttja
 385–391 hellgraue Seekreide
 391–394 dunkelgraue Kalkgyttja
 394–668 Seekreide in den Farben hellgrau, blassgelb, weiss und rosagrau, nach
 unten wasserärmer und kompakter werdend
 668–696 olivgraue bis hellgraue, tonige Kalkgyttja mit nach unten zunehmendem
 Tongehalt
 696–698 olivgraue Tongyttja
 698–703 hellgraue, tonige Kalkgyttja
 703–709 blassgelbe Seekreide
 709–709,2 Laacher Bimstuff, grau
 709,2–741 blassgelbe Seekreide
 741–747 olivgraue Tongyttja
 747–835 grauer Ton

Dieses Profil wurde bis 770 cm Tiefe auf Grossreste untersucht. Die Ergebnisse sind
 in Abbildung 36 zusammengestellt.

Diagrammgliederung:

- PAZ 1 (770–757): Rasen-Zwergstrauch-Phase
 PAZ 2 (757–751): Rasen-Zwergstrauch-Phase mit *Juniperus*
 PAZ 3 (751–748): *Juniperus*-Phase
 PAZ 4 (748–736): *Betula*-Phase
 PAZ 5 (736–732): *Betula*-Phase mit *Pinus* und Lichtungszeigern
 PAZ 6 (732–712): *Pinus-Betula*-Phase
 PAZ 7 (712–708): *Pinus*-Phase
 PAZ 8 (708–703): *Pinus-Betula*-Phase
 PAZ 9 (703–693): *Pinus*-Phase
 PAZ 10 (693–675): *Pinus-Betula*-Phase mit *Populus*

PAZ 11 (675–655):	<i>Pinus-Betula</i> -Phase mit Thermophilen
PAZ 12 (655–595):	<i>Corylus</i> -Phase mit <i>Ulmus</i> , <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> und <i>Quercus</i>
PAZ 13 (595–515):	<i>Corylus</i> -Phase mit EMW
PAZ 14 (515–445):	<i>Corylus</i> -EMW-Phase
PAZ 15 (445–405):	EMW- <i>Corylus</i> -Phase mit <i>Alnus</i> und <i>Fagus</i>
PAZ 16 (405–395):	<i>Corylus</i> -EMW- <i>Alnus</i> -Phase
PAZ 17 (395–375):	<i>Fagus-Alnus</i> -Phase
PAZ 18 (375–355):	<i>Alnus</i> -Kulturzeiger-Phase
PAZ 19 (355–345):	<i>Corylus</i> -Phase
PAZ 20 (345–315):	<i>Alnus</i> -Phase
PAZ 21 (315–265):	<i>Fagus-Quercus-Alnus</i> -Phase
PAZ 22 (265–225):	<i>Alnus-Quercus</i> -Phase mit <i>Corylus</i> und <i>Fagus</i>
PAZ 23 (225–165):	<i>Alnus</i> -Phase
PAZ 24 (165–115):	<i>Fagus-Alnus</i> -Phase
PAZ 25 (115– 85):	<i>Alnus-Betula</i> -Phase mit Kulturzeigern
PAZ 26 (85– 25):	<i>Alnus-Quercus</i> -Phase mit Kulturzeigern
PAZ 27 (25– 5):	<i>Fagus-Alnus-Carpinus</i> -Phase
PAZ 28 (5– 0):	<i>Quercus</i> -Kulturzeiger-Phase

4.3 Chronologie

4.3.1 Synchronisierung der Pollendiagramme

Beim Vergleich der 10 Diagramme zeigt sich, dass keines die vollständige Vegetationsentwicklung vom Eisfreiwerden bis zur Gegenwart erfasst. Bei den limnischen Profilen liegt dies jedoch vor allem daran, dass die basalen Partien nicht erbohrt oder nicht untersucht wurden und dass in den unteren Teilen die Sedimentmächtigkeiten zu gering für eine intensive Untersuchung sind. Hiaten hingegen sind hier selten, im Gegensatz zu den telmatischen Profilen, bei denen sie die Regel sind, und bei denen zudem die jüngsten Abschnitte fehlen oder stark gestört sind. Es gibt also – entgegen den theoretischen Forderungen, aber eigentlich den Erwartungen entsprechend – *nicht das* Standarddiagramm; sondern die Vegetationsentwicklung muss anhand der 2 bestentwickelten Diagramme – Nu 1 für die basalen Teile bis zum Fagusanstieg und Nu 8 ab dem Fagusanstieg – rekonstruiert werden. Ergänzend treten hierzu weitere Diagramme, bei denen einzelne Abschnitte noch besser entwickelt sind, nämlich Nu 2 im Bereich Ib bis II, Nu 4 im Bereich IV und Nu 9 im Bereich VI/VII.

Die Entwicklung des lokalen Pollenzonensystems aus den in Kapitel 4.2. besprochenen PAZ ist in Tabelle 5 dargestellt. Dort sind auch die Zonen der Mitteleuropäischen Grundsukzession eingetragen. Beide ergänzen sich, da die LPZ eine Feingliederung der Zonen darstellen, während diese den Anschluss an die regionale und überregionale Entwicklung sicherstellen. Die Kriterien für die Grenzziehung der Zonen nach FIRBAS seien kurz erläutert:

Die Grenze Ia/Ib ist dort gezogen, wo der Baumpollenanteil bei steigender Juniperuskurve die 50%-Grenze überschreitet. Die Grenze Ib/Ic fällt mit dem Rückgang der Betulakurve und des Baumpollenanteils zusammen, die Grenze Ic/II mit dem Wiederanstieg der Baumpollen- und Betulakurve noch vor dem Pinusanstieg. In manchen Diagrammen ist die Abfolge zu gedrängt bzw. sind die Probenabstände zu gross, um diese Grenze klar erfassen zu können. Sie wurde deshalb in diesen Diagrammen mit der Stelle gleichgesetzt, an der die Pinuskurve die abfallende Betulakurve schneidet, und die einige cm höher liegt. Die Grenze II/III liegt knapp über dem Laacher Bimstuff und ist mit dem Anstieg der Kurven von *Pinus*, *Juniperus* und *Artemisia*, mit

dem Abfall der Betulakurve und meist auch mit erhöhtem Tonanteil im Sediment verknüpft. Die Grenze III/IV, identisch mit dem Übergang vom Spätglazial zum Postglazial, ist durch den erneuten Anstieg der Betulakurve und das Auftreten erster Funde von thermophilen Gehölzen charakterisiert. Die Grenze IV/V liegt dort, wo die ansteigende Coryluskurve die sinkende Pinuskurve schneidet und dominant wird. An der Grenze V/VI steigt der EMW, besonders aber *Fraxinus*, an, wenngleich die Coryluskurve dominant bleibt. Die Grenze VI/VII ist durch das Einsetzen der empirischen Faguskurve gekennzeichnet. Auf die Verwendung dieses Kriteriums in Abweichung von den Gepflogenheiten in anderen Landschaften kommen wir in Kapitel 5.2. zurück. Die Grenze VII/VIII ist mit dem zweiten Fagusgipfel (nun Alleindominanz) nach dem Ausklingen der ersten Kulturphase und gegen Ende des Ulmen-Linden-Abfalls gleichgesetzt. An der Grenze VIII/IX endet die geschlossene Tiliakurve, und die geschlossene Kurve von *Carpinus* beginnt. Die Grenze IX/Xa ist mit dem Abfall der Carpinuskurve und der starken Zunahme der Lichtungs- und Kulturzeiger verknüpft. An der Grenze Xa/Xb gelangt die Pinuskurve zur Dominanz, die Kurve von *Picea* steigt und die von *Quercus* und *Juniperus* gehen zurück.

Die komplette und zeitlich fixierte Vegetationsentwicklung des Raumes und wie sie sich in den 10 Profilen widerspiegelt, ist in Tabelle 5 dargestellt. Tabelle 6 gibt die zeitliche und räumliche Ausdehnung der 10 Profile wieder. In diese beiden Tabellen sind auch die Ergebnisse von Kapitel 4.3.2. eingeflossen, weshalb sie im Anschluss an dieses wiedergegeben sind.

4.3.2 Zeitstellung der Diagramme

In Tabelle 4 sind die Radiocarbonaten von den Nussbaumer Seen, die am Institut für exakte Wissenschaften der Universität Bern gemessen wurden, eingetragen.

Als weitere Zeitmarken kommen der Laacher Bimstuff (LST 5), der um 11 000 BP abgelagert wurde – (33), (65), vergleiche B 3902! –, und in den

Tabelle 4: Radiocarbonaten von den Nussbaumer Seen

Labor-Nr.	Profil	Tiefe (cm)	Alter (Jahre)	Material
B 3887	Nu 2	414–419	11 170±150	tonige Gytja
B 3888	Nu 2	419–424	12 720±160	tonige Gytja
B 3889	Nu 2	424–430	–	Tongyttja
B 3892	Nu 4	182–191	4 070± 70	Torf
B 3893	Nu 4	225–234	zu wenig Mat.	Torf
B 3894	Nu 4	261–271	4 750± 70	Torf
B 3895	Nu 4	271–281	5 230± 60	Torf
B 3896	Nu 4	317–325	6 190± 80	Torf
B 3897	Nu 4	389–398	7 220± 90	Braunmoostorf
B 3898	Nu 4	460–470	8 260±130	Gyttja
B 3899	Nu 4	610–619	9 820±120	Gyttja
B 3900	Nu 4	640–649	zu wenig Mat.	Gyttja
B 3901	Nu 4	680–689	10 210± 90	Gyttja
B 3902	Nu 4	715–724	10 960± 90	Gyttja mit Laacher Tuff bei 723
B 3903	Nu 4	740–749	11 630±100	Gyttja
B 3905	Nu 4	757–765	13 100± 90	Kalkgyttja, CO ₂ datiert

oberen Profilverteilen die Verknüpfung mit historisch belegten Ereignissen hinzu. Alle hier gemachten Altersangaben sind konventionelle, nicht korrigierte Daten, das heisst, sie geben das Alter in Radiocarbonjahren mit dem Nullpunkt der Zeitskala bei 1950 A.C. an. Die nicht aus Radiocarbonaten gewonnenen Altersangaben wurden in konventionelle Daten umgerechnet, was keine Probleme aufwirft, da die beiden Chronologien für die letzten 3000 Jahre gut übereinstimmen (136).

Den Phasen der Vegetationsentwicklung ordnen wir nun folgende Alter zu (vergleiche auch Tabelle 3):

Ia: Hier sind wir mangels Daten immer noch auf Schätzungen angewiesen. Veranschlagt man den jüngeren Teil, in dem die pflanzliche Wiederbesiedelung offenbar das Pionierstadium überschritten hatte (a2–b2), mit 2700 Jahren, was realistisch erscheint, da die grossenteils nicht erfassten, liegenden Schluff- und Sandpartien wechselnder Mächtigkeit mit sehr geringem Pollengehalt sicher in wesentlich kürzerer Zeit, als der Gletscher noch nahe war, abgelagert wurden, so bietet sich folgende interpolierte Gliederung an:

a2 16 000–15 000 BP

a3 15 000–14 500 BP

a4 14 500–14 000 BP

b1 14 000–13 700 BP

b2 13 700–13 300 BP

Der Beginn der Zwergbirkenphase wird von *LANG* (84) an der Schussenquelle auf 15 300 BP datiert. Da dieses Datum mit einer grossen Unsicherheit behaftet ist und ausserdem an den äussersten Endmoränen des Rheingletschers ermittelt wurde, liefert es keinen Grund, von unserer Chronozonierung (a4/b1: 14 000 BP) abzuweichen.

Die Grenze Ia/Ib dürfte bei 13 300 BP liegen (vergleiche (157), (41)). In Ib liegen mit $13\,100 \pm 90$ BP und $12\,720 \pm 160$ BP zwei gute Daten vor. Das erste ist kurz nach dem Kulminationspunkt der *Juniperus*-Kurve (Schwerpunktlage), das zweite auf deren Abstieg, aber deutlich vor dem Schnittpunkt mit der *Betula*-Kurve, einzuordnen. Phase c1 geht also von 13 300 BP bis 12 800 BP, c2 wird mit 12 800 BP–12 400 BP veranschlagt. Die Grenze Ib/Ic wird im Bewusstsein, wenig Anhaltspunkte zu haben, mit 12 000 BP angenommen. Daraus folgt die Gliederung von Ib:

c1 13 300 BP–12 800 BP

c2 12 800 BP–12 400 BP

d1 12 400 BP–12 000 BP

Für Ic werden 200 Jahre gerechnet, ein Betrag, der angesichts der geringen Sedimentmächtigkeit realistisch erscheint (92), (17), (113). Man kann, wenigstens in Nu 2, 2 Phasen erkennen:

d2 12 000 BP–11 900 BP

d3 11 900 BP–11 800 BP

Der Schnittpunkt von Pinus- und Betulakurve wurde mit $11\,630 \pm 100$ BP datiert und liegt also schon in II, das im Gebiet in 4 Phasen gegliedert werden kann:

1. Birkendominanz mit Kiefern Ausbreitung
2. Kiefern-Birken-Dominanz mit Rückgang der Birke
3. Kieferndominanz mit doppelgipfligem Birkenvorstoss
4. Kieferndominanz mit Rückgang der Birke

Die Wende Ic/II liegt also zwischen dem Beginn des Kiefernanstiegs und dem Schnittpunkt der Kurven von Kiefer und Birke. Für den ersten, stärkeren

Birkengipfel von Phase 3 kann man durch Verknüpfung mit LST 5 ein Alter von 11 000 BP annehmen. Dies bestätigt auch die Radiocarbonanalyse: B 3902, das nahe dem unteren Ende den Laacher Tuff enthielt, hat ein Alter von $10\,960 \pm 90$ BP. Damit wird folgender chronologischer Ablauf wahrscheinlich:

II1=d4	11 800–11 700 BP	
II2	} e1	
II3		11 700–11 000 BP
II4		11 000–10 900 BP
		10 900–10 800 BP

Die Grenze II/III liegt also bei 10 800 BP, die Grenze III/IV bei 10 200 BP (vergleiche B 3901: $10\,210 \pm 90$ BP). Dies stimmt gut mit den bisherigen Kenntnissen und Vorstellungen überein. Eine NBP-Schwankung teilt III etwa in der Mitte:

e2 {	III1	10 800–10 500 BP
	III2	10 500–10 200 BP

IV und damit das Postglazial beginnt also 10 200 BP. Die Grenze IV/V wurde in Nu 4 mit 9820 ± 120 BP datiert. Das ist erstaunlich alt. Schwierigkeiten bei der Datierung des Corylusanstiegs sind offenbar weit verbreitet (160), (83), (78), (149), (153), (41). Der allgemeinen Erwartung gemäss sollte diese Grenze um 9000 BP liegen. *P. Wegmüller* (151) datierte sie in den Thuralpen auf 9400 BP, *Welten* (156) im Berner Mittelland auf 9100 BP und *S. Wegmüller* (152) im Jura auf 9050 BP. Rechnet man bei Datum B 3899 mit 2 Sigma, also dem verdoppelten Wahrscheinlichkeitsintervall, womit das Ereignis mit 95%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb der angegebenen Grenzen liegt, und legt es dann an die untere Grenze des Intervalls, so kommt man auf 9580 BP oder aufgerundet 9600 BP für die Grenze IV/V. Die Massenausbreitung der Hasel ist also hier recht früh erfolgt. IV kann in 2 Phasen gegliedert werden, die sich durch den Anteil des Thermophilenpollens unterscheiden:

IVa=e3	10 200–9 900 BP
IVb=e4	9 900–9 600 BP

V beginnt somit 9 600 BP und endet, wie B 3898 bestätigt, 8300 BP. Ein nahezu identisches Resultat erhielten *Waterbolk & Van Zeist* (149) in Niederwil. Die Grenze f1/f2 muss interpoliert werden:

Va=f1	9 600–9 100 BP
Vb=f2	9 100–8 300 BP

Das *Corylus maximum* liegt etwa in der Mitte von V, knapp nach der Grenze f1/f2. Dafür wurde in Niederwil 9050 ± 100 BP ermittelt (149), was mit unserer Chronologie gut übereinstimmt.

VI beginnt somit 8300 BP. Als pollenfloristisches Kriterium kann der *Fraxinus*anstieg gelten. *H. J. Müller* (103) verknüpft im Vorderrheintal die Wende V/VI mit dem Tannenanstieg und ermittelt hierfür 7500 BP, was hier in VII läge, aber mit der alten mitteleuropäischen Grundsukzession (31), gut übereinstimmt. *Markgraf* (94) und *Welten* (156) lassen VI im Wallis beziehungsweise in den Berner Voralpen auch bereits 8000 BP oder früher beginnen. Diese Differenzen sind die Folge dessen, dass man Biostratigraphien durch ^{14}C -Daten in eine Chronostratigraphie überführt, anstatt diese per Definition vorauszusetzen.

Die Zone kann in drei Abschnitte gegliedert werden: Am Ende des ersten steigt die *Alnus*kurve an und die von *Corylus* fällt ab, und mit dem dritten be-

ginnt die geschlossene Faguskurve (f3, g1, g2). Der zweite Abschnitt (g1) fehlt in Nu 4 wegen eines Hiatus. Der (vermutliche) Beginn von g2 ist mit 7220 ± 90 datiert. Das Datum des ersten Fagusmaximums am Anfang von VII mit 6190 ± 80 weisen der Bucheneinwanderung und -ausbreitung eine Zeitspanne von gut 1000 Jahren zu. Am Schleinsee und Degersee (45) wurden in dieser Phase folgende Alter ermittelt: erster Schnittpunkt von *Corylus*- und EMW-Kurve 8150 ± 115 BP, zweiter Schnittpunkt von *Corylus*- und EMW-Kurve 7485 ± 120 BP, Beginn der rationellen Faguskurve 6565 ± 100 BP (Degersee) und 6250 ± 85 BP (Schleinsee), Schnittpunkt der *Fagus*- und EMW-Kurve rund 6000 BP; *Waterbolk & Van Zeist* (149) ermittelten 7710 ± 90 BP für das EMW-Maximum, was dem Beginn der rationellen Alnuskurve entspricht. So ergibt sich folgende Gliederung von VI:

VIa=f3 8300–7800 BP

VIb=g1 7800–7300 BP

VIc=g2 7300–6200 BP

Beim schon erwähnten Steilanstieg von *Fagus* zum ersten Gipfel besteht gute zeitliche Übereinstimmung mit (149), (45) und (151). VII beginnt also 6200 BP.

Das nächste, in VII gelegene Datum markiert den Beginn der ersten Kulturphase (k1), das darauf folgende deren Ausklang: Mit 5230 ± 60 BP und 4750 ± 70 BP entsprechen sie den Erwartungen. Dies ist synchron dem langgezogenen Ulmen-Linden-Abfall, den *Gaillard* (41) im westlichen Schweizer Mittelland auf 5300 BP datiert. Für die neolithische Kulturphase in Niederwil fanden *Waterbolk & Van Zeist* (149) 5010 ± 90 BP. Setzt man das Ende der neolithischen Kulturphase k1, das in Nu 4 mit 4750 ± 70 BP datiert wurde, als Grenze VII/VIII, so ergibt sich folgende Gliederung von VII:

g3 6200–5300 BP

k1 5300–4800 BP

VIII beginnt also 4800 BP. Ein weiteres Datum (B 3892) liegt von Nu 4 aus 185 cm Tiefe mit 4070 ± 70 BP vor. Da hier zweifelsfrei die bronzezeitliche Kulturphase am Ende von VIII erfasst ist, die nach dem bisherigen Erkenntnisstand kaum vor 3200 BP begonnen haben dürfte, ist dieses Datum eindeutig zu alt. Es zeigt sich hier, dass die Wachstumsraten des Torfes ab Ende VII zurückgehen und erst am Übergang zu IX wieder zunehmen (siehe Kapitel 5.1 und 5.3!). Die Grenze VIII/IX sei 2800 BP (Schätzung aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse mangels eigener Daten). Daraus folgt diese Gliederung von VIII:

h1 4800–4300 BP

k2 4300–3700 BP

h2 3700–3200 BP

k3 3200–2800 BP

Zur Gliederung von IX, dessen Beginn soeben auf 2800 BP festgelegt wurde und dessen Abgrenzung zu X können wir historisch belegte Daten hinzuziehen: römische Landnahme 2000 BP, Verödung in der Spätantike 1600 BP, Wiederbesiedelung im Frühmittelalter um 1200 BP; das ergibt folgende Gliederung:

k4 2800–2000 BP

k5 2000–1600 BP

h3 1600–1200 BP

Dabei besteht besonders bei k4 noch ein Defizit an exakten Daten.

Tabelle 5: Die Phasen der Vegetationsentwicklung im Gebiet der Nussbaumer Seen, ihre Dauer, ihre Stellung in der mitteleuropäischen Grundsukzession (FIRBAS) und ihre Ausprägung in den Profilen Nu 1–10

LPZ	Zone	Alter (BP)	Dauer	Bezeichnung	Nu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a1	Ia	bis 16000	?	baumfreie Zeit mit spärlichem Pflanzenwuchs	<u>1</u>										
a2	Ia	16000–15000	1000	baumfreie Zeit mit Kräutern und Gräsern	<u>2</u>				1						
a3	Ia	15000–14500	500	baumfreie Zeit mit geschlossenen Rasen	<u>3</u>	1(+2)			2						
a4	Ia	14500–14000	500	baumfreie Zeit mit Cyperaceen und Nässezeigern	<u>4</u>	3			3						
b1	Ia	14000–13700	300	Rasen-Zwergstrauch-Phase	<u>5</u>	3-4			4				1	1	1
b2	Ia	13700–13300	400	Zwergstrauch-Rasen-Phase mit Sträuchern	<u>6</u>	5			4		1		1	2	2
c1	Ib	13300–12800	500	Juniperus-Hippophaë-Strauchphase	<u>7</u>	<u>6</u>		1	5-6		2		2	3	2-3
c2	Ib	12800–12400	400	Juniperus-Betula-Phase	7	<u>7</u>		1	7		H		3	4	4
d1	Ib	12400–12000	400	Betula-Phase	7	<u>8</u>		H	7				3	4	4
d2	Ic	12000–11900	100	Betula-Pinus-Phase mit viel NBP	8	<u>9</u>			7				3	4	4-5
d3	Ic	11900–11800	100	Betula-Pinus-Juniperus-NBP-Phase	9	<u>10</u>			7				3	4	5
d4	II	11800–11700	100	Betula-(Pinus-)Phase	9/10	<u>11</u>			7				3	4	5
e1	II	11700–10800	700	Pinus-Betula-Phase	<u>10/11</u>	<u>12/14</u>	2		8			3-4	5	6	6-8
e2	III	10800–10200	600	Pinus-(Juniperus-Artemisia-)Phase	<u>12</u>	15	3		9			4	6	9	9-10
e3	IVa	10200–9900	300	Pinus-Betula-Phase mit Thermophilen	<u>13</u>	16	H		<u>10</u>			5	7	11	
e4	IVb	9900–9600	300	Pinus-Betula-Corylus-Phase mit Ulmus und Quercus	<u>13</u>	H			<u>11</u>			5	7	11	
f1	Va	9600–9100	500	Corylus-(Pinus-Betula-Ulmus-Quercus-)Phase	<u>14</u>				12			6	8	12	
f2	Vb	9100–8300	800	Corylus-(EMW-)Phase	<u>15</u>				13			6	8	13	
f3	VIa	8300–7800	500	Corylus-EMW-Phase	<u>16</u>				14			6	9	14	
g1	VIb	7800–7300	500	EMW-Corylus-Alnus-Phase	<u>17</u>				H			6	10	15	
g2	VIc	7300–6200	1100	EMW-Alnus-Corylus-Phase mit Fagus	<u>18</u>			15-16				7	<u>11</u>	15	
g3	VII	6200–5300	900	EMW-Fagus-Alnus-Phase	<u>19</u>	<u>18</u>		17				<u>8</u>	12		

k1	VII	5300- 4800	500	Corylus-Alnus-EMW-Fagus-Phase m. Kult.-Zeig.	20	H	18	1-4	<u>9</u>	13	16		
h1	VII	4800- 4300	500	Fagus-Alnus-Phase	21	19	4	19	1	5-6	<u>10</u>	14	17
					22							15	
k2	VIII	4300- 3700	600	Corylus-Alnus-Phase mit Kulturzeigern	23	(20)	5	20	2	7	<u>11</u>	16	18
								21					
h2	VIII	3700- 3200	500	Fagus-Alnus-Phase m. wenig Kulturzeigern	(23)	(20)	(6)	22	3	8	<u>12</u>	(17)	19
K3	VIII	3200- 2800	400	Fagus-Alnus-Phase mit Kulturzeigern	(24)	(20)	(6)	22	4	9	<u>13</u>	(18)	20
k4	IX	2800- 2000	800	Alnus-Fagus-Phase m. Kult.Zeig. u. Carpinus	24	21	(7)	23	5	3	10	<u>14</u>	(19) 21-23
k5	IX	2000- 1600	400	Quercus-Alnus-Phase mit Secale, Juglans, Castane und Kulturzeigern	25	<u>21</u>	(7)	24	6	3	10	<u>15</u>	(20) 24
h3	IX	1600- 1200	400	Fagus-Carpinus-Phase mit Alnus u. Quercus	26		<u>8</u>	25	7	4	11	<u>16</u>	(21) 25
k6	Xa	1200- 450	750	Humulus/Cannabis-Kulturzeiger-Phase m. Quercus und Juniperus	H		H		<u>8</u>	5	12	<u>17</u>	(22) <u>26</u>
k7	Xb	450- 150	300	Humulus/Cannabis-Kulturzeiger-Phase m. Pinus, Picea und Juniperus									
k8	Xb	150- 5	145	Pinus-Picea-Grünland-Phase	<u>27</u>			<u>27</u>		<u>8</u>	<u>14</u>	<u>19</u>	<u>20</u>
k9	Xb	5- -25	30	Pinus-Picea-Grünland-Phase mit Getreide, Mais, Tabak									

Bei den Profilen Nu 1 bis Nu 10 sind in den Spalten jeweils die entsprechenden PAZ (vergleiche Pollendiagramme und Kapitel 4.21) angegeben. Der Beginn einer Sedimentlücke (Hiatus) ist durch ein «H» gekennzeichnet, das Ende ergibt sich aus dem Wiedereinsetzen der Ziffern. Die Profile sind durch waagerechte Striche markiert. Die jeweils am besten ausgebildeten lokalen Pollenzonen (Standardzonen) sind durch Kästchen hervorgehoben. PAZ, deren biostratigraphische Korrelation nicht mit letzter Gewissheit gelingt, stehen in Klammern (vor allem an den oberen Enden der telmatischen Profile). Als Standarddiagramme könnte man bezeichnen: Nu 1 für Ia bis VI, Nu 8 für VI bis X, Nu 4 für IV, Nu 2 für Ib bis II und Nu 9 für VI.

Die Bezeichnungen der LPZ sind so gewählt, dass der kleine Buchstabe Phasen mit gleicher dominierender Art oder Formation

einander zuordnet. So steht a für Rasengesellschaften, b für Zwergstrauchphasen, c für Juniperusdominanz, d für Betuladominanz, e für Pinusdominanz, f für Corylusdominanz, g für EMW-Dominanz, h für Fagusdominanz und k für Kulturphasen. Sämtliche Zonengrenzen sind den Prozentdiagrammen entnommen. Deshalb stimmen sie dort, wo diese Grenze durch die Veränderung der Häufigkeit bestimmter Arten definiert ist, nicht immer mit den Influxdiagrammen überein, da diese Veränderungen in den beiden Diagrammtypen nicht unbedingt synchron verlaufen. Die Orientierung an den Prozentdiagrammen erleichtert den Vergleich mit anderen Arbeiten. Zum Beispiel wird am Übergang V/ VI und in VI der Anstieg der Kurven von Fraxinus und Alnus im Prozentdiagramm durch hohe Coryluswerte maskiert und dadurch gegenüber dem Influxdiagramm verzögert.

Die Gliederung des um 1200 BP beginnenden X soll nur in groben Zügen erfolgen. Die der Berechnung der Influxwerte zugrundeliegende Feingliederung und die Begründungen für die Chronologie finden sich in Kapitel 5.4.:

Xa	k6 (Frühmittelalter)	1200—1000 BP
	k6 (Hoch- und Spätmittelalter)	1000— 450 BP
Xb	k7 (frühe Neuzeit)	450— 150 BP
	k8—k9 (späte Neuzeit)	150— —25 BP

Da dieser Chronologie nur ein relativ mageres Gerippe exakter Daten zugrundeliegt, deren Abstände durchschnittlich 1000 Jahre betragen, konnte die Feingliederung nur durch Interpolation gewonnen werden, weshalb sie mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist, was deshalb auch für die hierauf basierende Berechnung der Influx-Diagramme gilt.

Die Resultate des Kapitels 4.3. sind in den Tabellen 4 bis 6 sowie in den Abbildungen 12 bis 15 zusammengefasst. Abbildung 12 zeigt die räumlich-zeitliche Lage der Radiocarbonaten aus Nu 4. In Abbildung 13 sind die Sedimentationsraten aller 10 Profile gegen die Zeit aufgetragen. Abbildung 14 zeigt die Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten der Profile 1, 2 und 8. Dies ist die Grundlage des Zeitmassstabes der Influxdiagramme. In Abbildung 15 sind die hieraus entwickelten Sedimentationsraten dieser drei Profile gegen die Tiefe aufgetragen — Grundlage der Influxberechnung.

In Zeile 5 von Tabelle 6 ist die zeitliche Dauer der Hiaten für jedes Profil (Summe) angegeben. Zeile 6 bringt die effektive Sedimentationsdauer jedes Profils, gewonnen dadurch, dass man von der Zeit, die zwischen dem unteren und oberen Profilende liegt, die eventuelle Hiatusdauer subtrahiert. In Zeile 7 ist die mittlere Sedimentationsrate als Quotient aus Profillänge und effektiver Sedimentationsdauer angegeben.

In Abbildung 13 sind die Sedimentationsraten für die einzelnen Profile und LPZ gegen die Zeit aufgetragen. Diese Raten sind in den basalen, mineralischen Partien generell hoch und werden im nachfolgenden, organogenen Spätglazial sehr gering. Ab V steigen sie wieder an und sind im jüngeren Postglazial starken Schwankungen unterworfen. Hier bestehen auch grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Profilen, besonders zwischen telmatischen und limnischen.

Die telmatischen Sedimentationskurven lassen folgendes Schema erkennen: V: starke Sedimentation, ab Mitte VI geringe, 1. Hälfte von VII starke, 2. Hälfte geringe Sedimentation, in VIII zunächst geringe, dann bis IX stark zunehmende Sedimentation; sie bleibt bis Ende IX hoch und bricht dann ziemlich plötzlich ab.

Die limnischen Profile weisen bis Mitte VI extrem geringe Sedimentationsraten auf (Kompression nicht berücksichtigt); mit der Bucheneinwanderung schnellen sie, bedingt durch die nun einsetzende Kalkfällung, fast schlagartig empor (vergleiche Abbildung 16!). In den frühen Kulturphasen sind die Sedimentationsraten deutlich höher als in den zwischengeschalteten Phasen geringen menschlichen Einflusses. Die Raten bleiben aber bis einschliesslich Xa in normalen Grössenordnungen, um in Xb gewaltige Ausmasse anzunehmen: zum Beispiel in Nu 8 ist die Sedimentationsrate in den obersten 50 cm, die seit der Melioration abgelagert wurden, mit durchschnittlich 5,6 mm/a annähernd 200mal so hoch wie in der langen Zeit des Spät- und frühen Postglazials. Näheres über die limnischen Sedimentationsverhältnisse der letzten 2000 Jahre in Kapitel 5.4.!

Tabelle 6: Räumliche und zeitliche Ausdehnung der 10 Hauptprofile

Profil Nr.	Nu 1	Nu 2	Nu 3	Nu 4	Nu 5	Nu 6	Nu 7	Nu 8	Nu 9	Nu 10
1) Länge (cm)	1260	550	215	900	250	260	620	850	1070	770
2) von (BP)	16 000	15 000	13 300	16 000	4800	13 600	5300	14 000	14 000	14 000
3) bis (BP)	0	1500	1300	0	1000	100	100	-25	500	1000
4) Hiaten (Zahl)	1	2	2	2	-	1	-	-	?	3
5) " (Dauer)	1500	4000	6000	1500	-	10 000	-	-	-	3500
6) 2-(3+5) (a)	14 500	9500	6000	14 500	3800	3500	5200	14 000	13 500	9500
7) 10x(1/6) ($\frac{mm}{a}$)	0,81	0,58	0,36	0,62	0,66	0,74	1,20	0,61	0,79	0,81

4.4. Influx-Diagramme

(siehe Abbildung 31 bis 34 im Anhang!) Nu 8 enthält als einziges Diagramm die vollständige Abfolge von der waldfreien Zeit bis zur Gegenwart, doch lassen die basalen 7000 Jahre (das heisst der Zeitraum von 14 000 bis 7000 BP) wegen der stratigraphischen Drängung kaum Detailaussagen zu. Nu 1 reicht noch etwas weiter in die waldfreie Zeit hinein, bricht aber um 5300 BP ab. Nu 2 ist quasi eine Detailstudie der spätglazialen Wiederbewaldungs- und Lichtungsphasen.

Da alle 3 Diagramme Ausdruck derselben Vegetationsentwicklung sind, sollen sie im folgenden gemeinsam besprochen werden – im Vergleich mit den herkömmlichen Diagrammen. Die Methode der Influxberechnung ist ziemlich neu (23) und wurde bisher in Mitteleuropa erst wenig angewendet.

LPZ a2 (Nu 1, vor 15 000 BP): Der sehr geringe Influx dokumentiert fast völlige Pflanzenfreiheit des Gebiets (vegetatives Vorkommen kann natürlich nicht ausgeschlossen werden)! Bei den ersten Pionieren handelt es sich um Gräser, Seggen, Wermutarten, Sonnenröschen und andere Kräuter. Das Prozentdiagramm hingegen täuscht hier eine gut entwickelte Gräser-Kräuter-Steppe vor.

LPZ a3 (Nu 1, 15 000–14 500 BP): Nach den erhöhten Influxwerten der oben genannten Arten zu schliessen, scheinen sie nun tatsächlich das Gebiet besiedelt zu haben, doch war die Pflanzendecke noch lückig. Das Arteninventar ist angewachsen.

LPZ a4 (Nu 1, 14 500–14 000 BP): Der Gesamtinflux steigt auf etwa 2000 Einheiten pro cm³ und Jahr, das spricht für ziemlich geschlossene Rasen. Weiden, Wacholder, Sanddorn, Birken und Kiefern gelangten an ihren Reliktstandorten wieder zur Blüte, doch dürften zumindest die beiden letztgenannten Arten dem Gebiet noch sehr fern gewesen sein.

LPZ b1 (Nu 1 und 8, 14 000–13 700 BP): Die Rasengesellschaften erreichen eine Optimalphase. Zugleich breiten sich Zwergbirken und Kriechweiden aus. Die Influxzunahme von *Juniperus* und *Pinus* ist als Näherrücken der Bestände zu deuten.

LPZ b2 (Nu 1, 2 und 8, 13 700–13 300 BP): Wacholder und Sanddorn wandern ein. Der Influx nimmt jedoch zunächst nicht wesentlich zu. Dies könnte daran liegen, dass zunächst junge, noch nicht blühfähige Büsche überwogen, die aber bereits die Pollenproduktion der Zwergstrauch- und Rasengesellschaften durch Beschattung drosselten. Dieser Rückgang war aber nicht so stark, wie die Prozentdiagramme vermuten lassen.

LPZ c1 (Nu 1, 2 und 8, 13 300–12 800 BP): Der Influx verfünffacht sich, bedingt durch die Zunahme von *Juniperus* und anderen Sträuchern. Die Kräuterkurven gehen – im Gegensatz zu den Prozentdiagrammen – kaum zurück. Auch die Birkenkurve verläuft sehr gleichmässig. Der Umbruch:

Zwergbirken-Baumbirken scheint also nahtlos und ohne Beeinflussung durch die Wacholderausbreitung erfolgt zu sein. Man darf sich von den hohen Wacholderwerten der Prozentdiagramme nicht irreführen lassen, ist doch in Nu 8 der mittelalterliche Wacholderpolleninflux grösser als der böllingzeitliche, während umgekehrt die Prozentkurve im Bölling zehnmal höhere Werte erreicht als im Mittelalter. Da im Mittelalter die Art zwar häufig war als «Weideunkraut», aber nie bestandbildend, ist für die Zeit vor 13 000 Jahren eher an Heiden, denn an dichte Gebüsche oder gar Wälder aus Wacholder zu denken.

LPZ c2 (Nu 1, 2 und 8, 12 800–12 400 BP): Durch die Einwanderung der Baumbirken und die Verdrängung des Wacholders geht der Influx vorübergehend zurück (Erklärung siehe b2) und steigt dann etwas an. Trotz der lückigen Pflanzendecke und der lichten Landschaft muss man von starker Konkurrenz ausgehen, da die Zahl günstiger und gar baumfähiger Standorte begrenzt war und mit fortschreitender Bodenentwicklung nur langsam wuchs. Begrenzender Faktor für das Pflanzenwachstum war also nicht das Licht, sondern die Böden und damit letzten Endes die Hydratur, eine allen Wald- und Wuchsgrenzen, sowohl den orographischen wie den klimatischen, gemeinsame Erscheinung.

Krautige Pflanzen hatten in c2 mindestens ebenso gute Wuchsbedingungen wie im späten Ia (a4). Im Verlauf dieser Phase konnte der Wacholder die an die Birken verlorenen Standorte durch neugewonnene ersetzen und seinen Influx wieder erhöhen (in den Prozentdiagrammen nicht zu sehen).

LPZ d1 (Nu 1, 2 und 8, 12 400–12 000 BP): Das Reservoir potentieller Standorte ist nun ausgeschöpft und die Pionierphase damit abgeschlossen. Mit Birkenwald hat sich die Formation durchgesetzt, die für diese Zeit als Klimax betrachtet werden muss. Durch die Verdrängung des Wacholders sinkt der Gesamtinflux etwas ab. Die krautigen Pflanzen, vor allem die Gräser, können sich in den Birkenwäldern gut behaupten.

LPZ d2 (Nu 1, 2 und 8, 12 000–11 900 BP): Der Birkeninflux geht stark zurück, auch derjenige der übrigen Gehölze ausser *Pinus*. Die krautigen Pflanzen werden vorübergehend ebenfalls dezimiert. Der Anstieg der Pinuskurve dürfte auf vermehrten Fernfluganteil zurückzuführen sein. Die Zunahme des Kiefernpollens ist nicht so gravierend, wie das Prozentdiagramm glauben machen könnte. Eine vermutlich durch einen Klimarückschlag bedingte, starke Auflichtung der Birkenwälder ist nicht von der Hand zu weisen.

LPZ d3 (Nu 1, 2 und 8, 11 900–11 800 BP): Die Ausbreitung von krautigen Pflanzen und Weiden, in geringerem Mass auch von Sanddorn, Wacholder und Pioniersträuchern, leitet die Regeneration der Birkenwälder ein, doch verläuft diese nur zögernd.

LPZ d4 (Nu 1, 2 und 8, 11 800–11 700 BP): Der Gesamtinflux steigt geringfügig an, und die Zunahme des Kräuterpollens belegt den wieder dichteren Waldschluss. Der im Vergleich zu d1 nur halb so grosse Influx von *Betula* lässt wegen des Fehlens von Lichtungszeigern an ein Nachhinken der Pollenproduktion hinter dem Bestandesaufbau denken (siehe frühere Bewaldungsphasen!).

LPZ e1 (Nu 1, 2 und 8, 11 700–10 800 BP): Als Ausdruck der dichter werdenden Bewaldung steigt der Gesamtinflux stark und stetig an (erstmal über 10 000 Einheiten / cm³ × Jahr). Die Kiefer wandert ein und breitet sich aus, doch vergehen weitere 300 Jahre, bevor sich in den Diagrammen ein Rückgang der Birken abzeichnet (Verspätung gegenüber den Prozentdiagram-

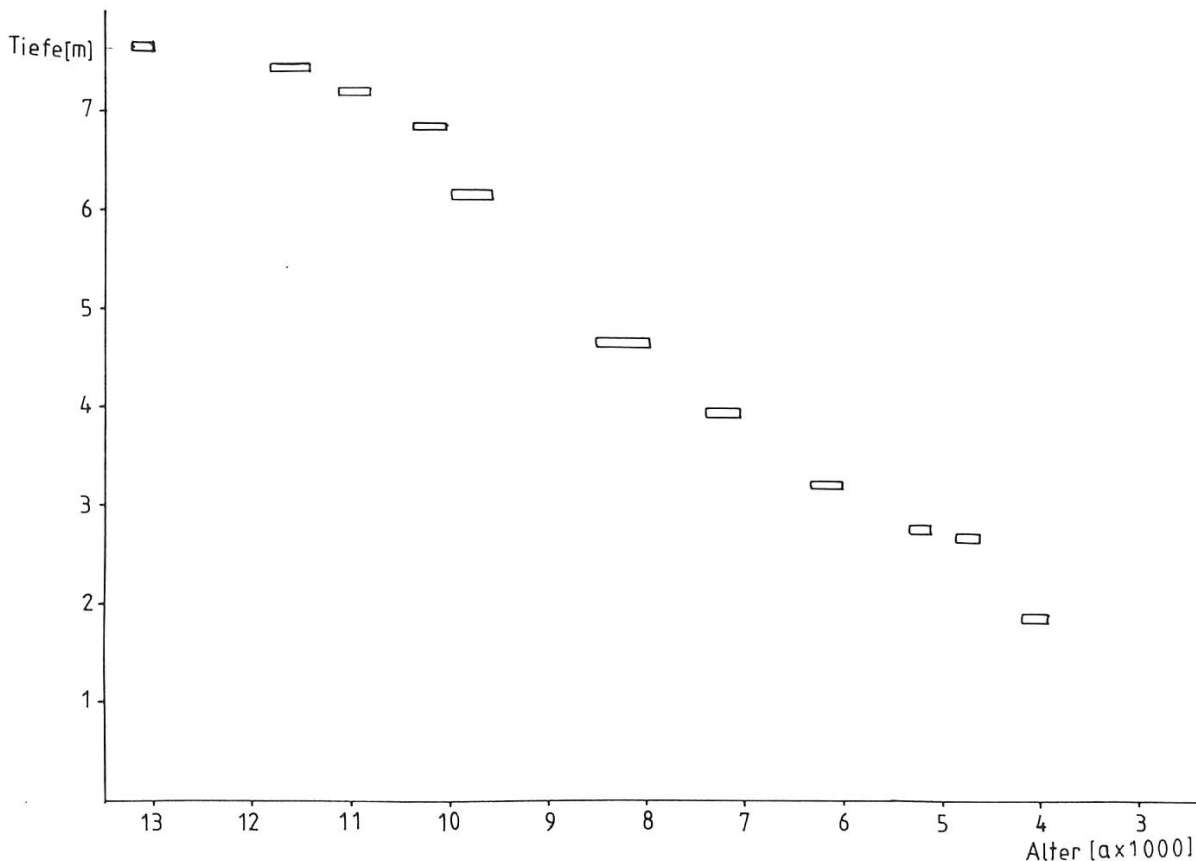


Abbildung 12: Die räumlich-zeitliche Lage der Radiocarbonaten von Nu 4.

men). Ab diesem Zeitpunkt geht auch der NBP-Influx deutlich zurück: Das Klimaxstadium des Allerød ist erreicht. Mit der Ablagerung des Laacher Bimstuffs sinkt der Influx von *Pinus* und *Betula* und damit auch der Gesamtinflux. Der relativ stärkere Rückgang von *Pinus* täuscht im Prozentdiagramm einen Birkenvorstoss vor. Am Übergang zu e2 erreicht der Gesamtinflux durch ein Kiefernmaximum die höchsten Werte des Spätglazials.

LPZ e2 (Nu 1, 2 und 8, 10 800–10 200 BP): Der Gesamtinflux geht auf die Hälfte zurück, liegt aber damit noch wesentlich höher als in weiten Teilen des Allerød. Die hohen Kiefernwerte sprechen für Kiefernwälder, die wohl stellenweise gelichtet gewesen sein dürften (erhöhter Influx von Sträuchern, NBP-Influx grösser als in der waldfreien Zeit), insgesamt aber doch vital waren und blühten. Die Birke wird seltener und nimmt erst zum Ende von e2 wieder zu.

LPZ e3 (Nu 1, [2] und 8, 10 200–9900 BP): Bei unverändertem Gesamtinflux wird der Betulainflux so gross wie der von *Pinus*. Die Werte der Sträucher und Kräuter gehen zurück; der Pollen von Thermophilen (*Corylus*, *Ulmus*, *Quercus* und *Alnus*) ist noch spärlich.

LPZ e4 (Nu 1 und 8, 9900–9600 BP): Die seit Ende von e3 bestehende Tendenz der Gesamtinfluxabnahme setzt sich zunächst fort (Verdrängungseffekt: neu einwandernde Arten drücken die Pollenproduktion der alteingesessenen Arten herab, bevor sie selbst in grossem Umfang produzieren, vergleiche b2, c2). Später steigt der Gesamtinflux wieder. Die Kurven von Kiefer und Birke gehen rasch auf die Hälfte zurück, die von *Corylus* und des EMW steigen. Die

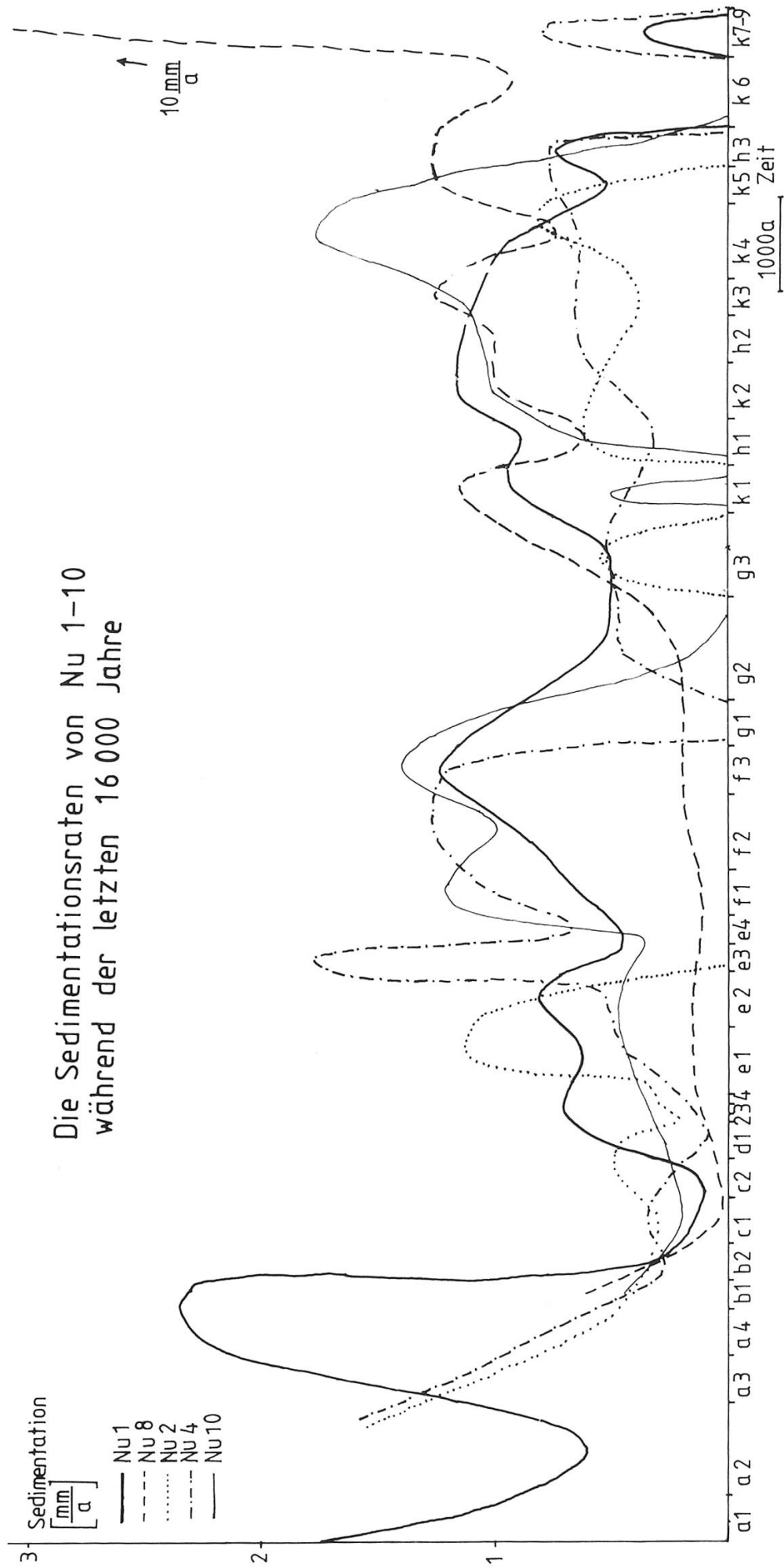
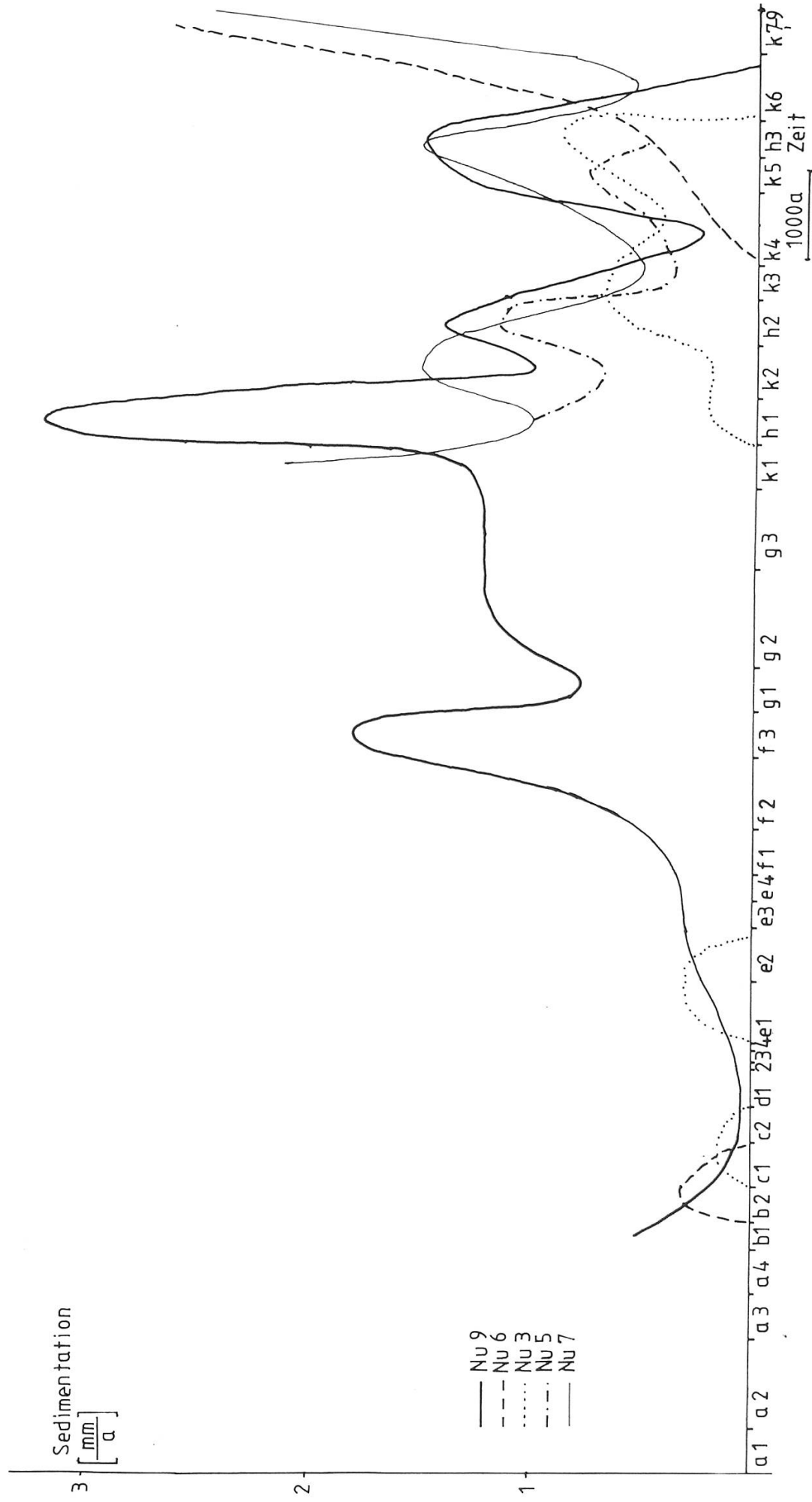


Abbildung 13a: Die zeitabhängige Änderung der Sedimentationsraten der Profile Nu 1, 2, 4, 8, 10.



51 Abbildung 13b: Die zeitabhängige Änderung der Sedimentationsraten der Profile Nu 3, 5, 6, 7, 9.

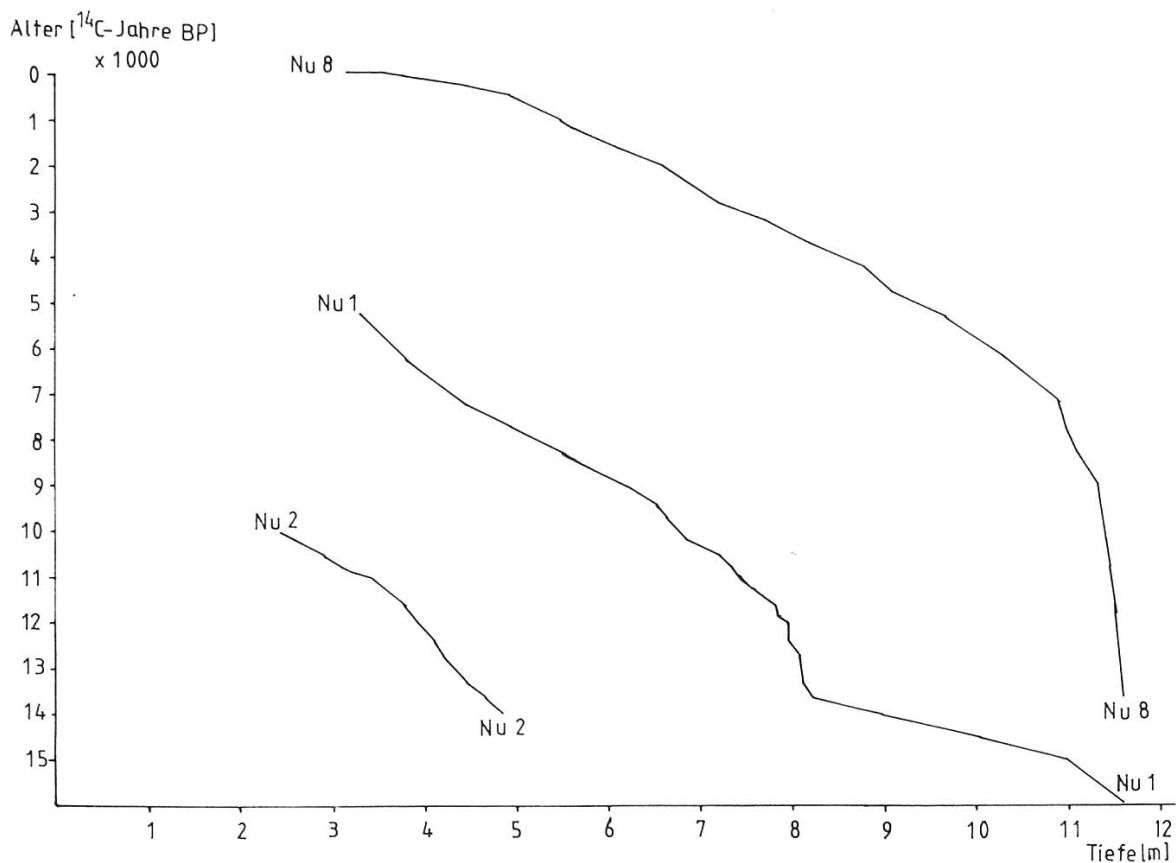


Abbildung 14: Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten der Profile Nu 1, 2 und 8.

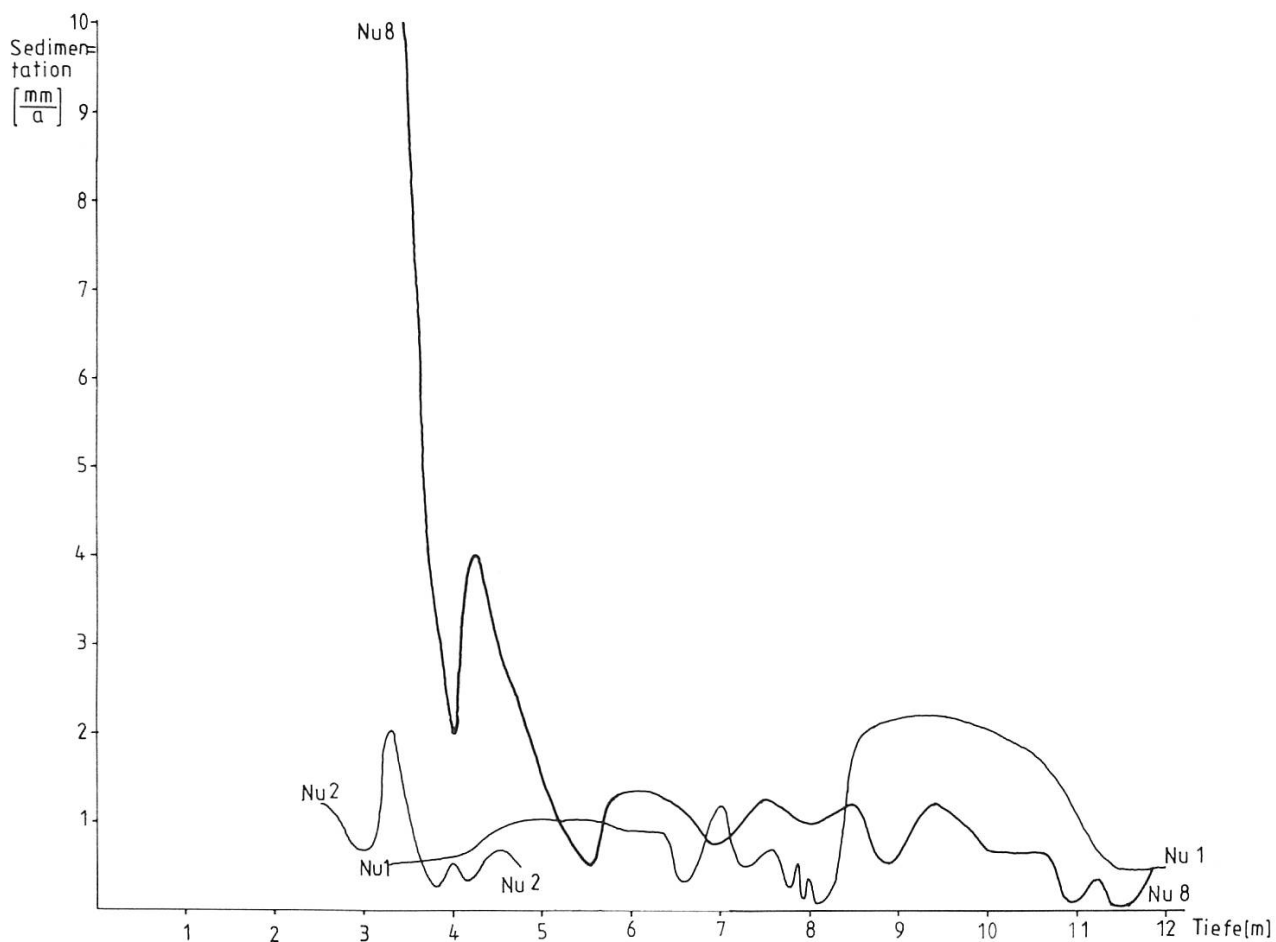


Abbildung 15: Sedimentationsraten der Profile Nu 1, 2 und 8 in Abhängigkeit von der Tiefe.

Influxkurven bestätigen die Einwanderungsfolge: *Corylus-Ulmus-Quercus-Tilia-Fraxinus*. Die Rolle von *Alnus* bleibt unklar. Die Werte von *Acer* und anderen Gehölzen sind zu gering, um im Influxdiagramm in neuem Lichte erscheinen zu können.

LPZ f1 (Nu 1 und 8, 9600–9100 BP): Auch in den Influxdiagrammen dominiert *Corylus*, begleitet von *Pinus*, *Betula*, *Ulmus*, *Quercus* und selteneren Arten: In diesem Bereich unterscheiden sich Prozent- und Influxdiagramm kaum. Für die hier sehr starken Oszillationen des Influx von Nu 1 fehlt bislang eine Erklärung. Möglicherweise ist es ein Artefakt, verursacht durch die Aufbereitung der Zwischenproben mit einem anderen Typ von Sporentabletten.

LPZ f2 (Nu 1 und 8, 9100–8300 BP): Im Verlauf dieses Abschnitts sinkt der Influx von *Betula* und *Pinus* stark ab, der von *Quercus*, *Ulmus* und *Corylus* bleibt unverändert hoch. *Corylus* erreicht am Ende von f2 sein Maximum. Zu dieser Zeit breitet sich auch *Fraxinus* aus.

LPZ f3 (Nu 1 und 8, 8300–7800 BP): Die Haselkurve und der Gesamtinflux fallen ab; Ulme und Eiche nehmen nur mässig, Linde und Esche etwas stärker zu. Ab der Mitte der LPZ belegt die Influxzunahme von *Alnus* die Massenausbreitung dieser Art. Die kräftige Zunahme des EMW in den Prozentdiagrammen wird durch den Rückgang des Gesamtinflux vorgetäuscht. Dieser Rückgang ist wiederum als Verdrängungseffekt zu deuten.

LPZ g1 (Nu 1 und 8, 7800–7300 BP): Der Gesamtinflux sinkt auf die Hälfte. Sehr stark gehen die Kurven von *Corylus* und der EMW-Arten zurück. Die selteneren Arten bleiben etwa konstant, und lediglich *Alnus* nimmt etwas zu. Die Prozentdiagramme verzeichnen statt des EMW-Rückgangs eine weitere Zunahme. Die einfachste Erklärung für den verminderten Influx wäre die, dass die Urwälder nun völlig geschlossen und dicht waren, und dass aus solchen Wäldern wegen verminderter Pollenproduktion und veränderter Windverhältnisse weniger Pollen ausgeweht und auf Wasserflächen und Mooren abgelagert wird. Die Erle als Baum der Seeufer wäre von diesem Effekt ausgenommen. In diesem Fall entspräche also das Prozentdiagramm wohl eher den tatsächlichen Bestockungsverhältnissen mit Rückgang von Hasel und Zunahme des EMW. Der Verdrängungseffekt als Erklärung und damit die Annahme, die Buche sei zu der Zeit schon steril vorgekommen und habe die Pollenproduktion der übrigen Gehölze eingeschränkt, ist wohl zu abwegig. In der 2. Hälfte von g1 nimmt der Influx nämlich wieder zu.

LPZ g2 (Nu 1 und 8, 7300–6200 BP): Der Gesamtinflux sinkt zunächst ab und steigt dann wieder. Die Buche wandert ein und beginnt sich auszubreiten. Der Influx der Ulme sinkt vorübergehend ab. Ansonsten sind wenig Änderungen und auch wenig Unterschiede zu den Prozentdiagrammen zu sehen.

LPZ g3 (Nu 1 und 8, 6200–5300 BP): Der Gesamtinflux und der von Buche, Erle und Hasel steigt sehr, die Kurven der EMW-Arten ein wenig. Pollen von Birke, Sträuchern und krautigen Pflanzen ist reichlich vorhanden. Dann geht der Gesamtinflux kurzfristig zurück, begleitet vom Abfall der Buchenkurve auf den halben Betrag. Zugleich fallen die Kurven von *Ulmus*, *Fraxinus* und *Tilia* ab. Während der Gesamtinflux und vor allem die Haselkurve dann wieder stark ansteigen, bleibt der Influx der vier letztgenannten Arten niedrig. Diese Vorgänge sind als Anfang der folgenden neolithischen Kulturphase zu deuten. Über die Zusammenhänge zwischen Pollenniederschlag, Walddichte, Wildddichte und Tätigkeit des Menschen, vor allem am Übergang Meso-/Neolithikum, ist schon viel nachgedacht worden, doch sind die Vorgänge so

komplex, dass plausible Lösungen schwer zu finden sind. Die Befunde der beiden Diagrammtypen stimmen auch hier gut überein, wie in allen Phasen mit relativ konstantem Influx.

LPZ k1 (Nu [1] und 8, 5300–4800 BP): Wie schon angedeutet, steigt der Gesamtinflux aufgrund der Zunahme des Haselpollens stark an; auch *Alnus*, *Abies* und *Picea* nehmen zu, *Fagus* bleibt zunächst konstant, und die EMW-Arten gehen zurück. Die NBP-Werte sind deutlich erhöht; Kulturzeiger treten auf. Anschliessend bahnt sich ein Rückgang sämtlicher Kurven und damit auch des Gesamtinflux an, der sich in h1 fortsetzt. Lediglich die Buchenwerte bleiben ab Ende k1 konstant, was einen Gipfel der Prozentkurve von *Fagus* in h1 nach sich zieht. Wiederum gibt das Prozentdiagramm zwar nicht die Verhältnisse des Pollenflugs, wohl aber die Bestockungsverhältnisse (erneut dichter Schluss der Buchenwälder) wieder. Dichte Buchenwälder geben weniger Pollen an die Umgebung ab als gelichtete Wälder mit zahlreichen Haselbüschen im Unterstand.

LPZ h1 (Nu 8, 4800–4300 BP): Im Verlauf dieser LPZ geht der Gesamtinflux und der aller Arten weiter stark zurück. Besonders betroffen sind die EMW-Arten und *Corylus*. Der Bucheninflux-Rückgang setzt sich nicht fort. Als Ursache könnte man wiederum den Verdrängungseffekt bemühen.

LPZ k2 (Nu 8, 4300–3700 BP): Am erneuten Influxgipfel sind alle Arten ausser *Tilia* und *Ulmus* durch vermehrten Influx beteiligt. Die überproportionale Zunahme von *Corylus* bewirkt Konstanz der Prozentkurven der übrigen Arten. Lediglich Ulme und Linde gehen in beiden Diagrammtypen zurück. Da die Zunahme der NBP und Kulturzeiger weniger deutlich ist als in k1, kann davon ausgegangen werden, dass diese Kulturphase weniger ausgeprägt war und weniger einschneidend auf die Wälder gewirkt hat.

LPZ h2 (Nu 8, 3700–3200 BP): Der folgende Effekt der Influxverminderung beim erneuten Schluss der Wälder ist bereits bekannt: Vor allem *Corylus* fällt stark ab, aber auch *Alnus*, *Betula*, der EMW und die NBP, zunächst sogar *Fagus*. Dann wird die verminderte Pollendispersion überkompensiert durch die Massenausbreitung der Klimaxart, weshalb die Buchenkurve ihr drittes Maximum erreicht und lange beibehält. Auch die Prozentdiagramme bestätigen dies.

LPZ k3 (Nu 8, 3200–2800 BP): Dieser Abschnitt unterscheidet sich nur durch leicht erhöhte Kulturzeigerwerte vom vorigen. Auch die Aussagen der beiden Diagrammtypen stimmen überein. Die Klimaxbuchenwälder bleiben relativ ungestört.

LPZ k4 (Nu 8, 2800–2000 BP): Der Rückgang des Gesamtinflux und der Kurven sämtlicher Waldbaumarten einschliesslich der Erle belegen die nun einsetzende starke Rodungstätigkeit. Der Influx von Birke und NBP nimmt zu, doch kann der Ausfall der starken Pollenproduzenten nicht ausgeglichen werden. Im Prozentdiagramm beschränkt sich der Rückgang auf *Fagus*, die übrigen Waldbäume behalten hier ihre Anteile.

LPZ k5 (Nu 8, 2000–1600 BP): Der Gesamtinflux ist zu Beginn des Abschnitts ziemlich niedrig, steigt dann an und fällt zum Ende wieder ab. Die Kurven der Hauptholzarten, Sträucher und Kräuter verlaufen gleichsinnig, lediglich *Quercus* hat durchgehend hohe Werte. Die Influxabnahme gegen Ende des Abschnitts ist wieder auf den Verdrängungseffekt zurückzuführen, zu der vielleicht eine nicht erkennbare Erhöhung der Sedimentationsrate hinzutritt. Die vorherige Influxerhöhung wäre dann eine Folge der Auflichtung der Wälder (Auflichtung und Waldweide können den Influx erhöhen,

wogegen völlige Rodung ihn natürlich — zumindest vorübergehend — absenkt.). Die Zweigipfeligkeit der Eichenkurve im Prozentdiagramm entpuppt sich als Effekt der Influxzunahme anderer Gehölze (Birke und andere), die ein relatives *Quercus*-«Tal» bewirkt.

LPZ h3 (Nu 8, 1600–1200 BP): Der Verdrängungseffekt setzt sich zunächst mit sinkendem Influx fort. Dann steigt der Influx von *Alnus* und *Fagus*, in geringerem Mass auch von *Carpinus* und *Fraxinus* sowie von *Corylus*, und damit auch der Gesamtinflux wieder an. Der Influx von *Quercus* und NBP wird viel geringer. Die Influxzunahme von *Fagus* beginnt am spätesten, hält aber am längsten an: Der Wald nähert sich wieder dem Naturzustand.

LPZ k6 (Nu 8, 1200–450 BP): Bevor die Klimax erreicht wird, tritt die nächste, sehr nachhaltige Störung ein. Der Gesamtinflux sinkt plötzlich auf ein Viertel. Dabei wird vor allem der Gehölzpollen rar, während der NBP stark zunimmt. Gegen Ende des Abschnitts steigt der Gesamtinflux wieder auf den Betrag von h3, doch macht der NBP davon mehr als die Hälfte aus. Bei den Gehölzen nimmt der Influx von *Pinus*, *Picea*, *Juniperus* und *Quercus* zu. Der NBP-Influx ist um mindestens eine Zehnerpotenz grösser als in der waldfreien Zeit. Es ist allerdings zu bedenken, dass hierbei der anthropogene *Humulus/Cannabis*-Eintrag den Hauptanteil ausmacht. Im Prozentdiagramm erscheint dieser BP-Rückgang nicht so gravierend.

LPZ k7 (Nu 8, 450–150 BP): Der Gesamtinflux wird wesentlich von der *Humulus/Cannabis*-Kurve bestimmt, doch verhalten sich die übrigen Kurven gleichsinnig, was sedimentologische Ursachen für die Influxschwankungen wahrscheinlich macht. So ist der insgesamt sehr hohe Gesamtinflux zwischen 300 und 200 BP herabgedrückt. Der Influx von *Pinus* erreicht, der von *Juniperus*, der Gräser und Kräuter übertrifft die jeweiligen Werte des Spätglazials. Daneben haben *Picea*, *Quercus* und *Fagus* wieder höhere Werte.

LPZ k8 (Nu 8, 150–5 BP): Abgesehen von einer weiteren, unerklärlichen Depression zu Beginn des Abschnitts bleibt der Gesamtinflux etwa gleich, doch wird gegen Ende der Gehölzpollenanteil hieran etwas grösser. Der Rückgang des NBP-Influx ist auf den Abfall der *Humulus/Cannabis*-Kurve zurückzuführen, denn der Influx der übrigen NBP und Kulturzeiger steigt. Die Kurven aller Gehölze ausser *Juniperus* und *Quercus* nehmen zu, doch bleiben sie — mit Ausnahme von *Pinus* und *Picea* — weit unter ihren Maximalwerten früherer Phasen. Der stark vermehrte Gräserinflux ist nun rund 50mal so hoch wie im Spätglazial!

LPZ k9 (Nu 8, 5–-25 BP): Durch den Anstieg der Gehölzkurven und Konstanz oder nur leichten Rückgang der NBP-Kurven wird der Gesamtinflux sehr hoch (fast 80 000 Körner/cm³ × Jahr). Dabei sind die Kurven von Kiefer und Erle, aber auch von Birke, Fichte, Esche und Eiche hervorzuheben. Dagegen bleibt der Influx der Buche im Vergleich zu früheren Zeiten gering. Dies scheint im Widerspruch dazu zu stehen, dass die Buche immer noch der Waldbaum mit der grössten Flächendeckung im Gebiet ist. Da die Buche jedoch nur in geschlossenen Beständen (Hochwäldern) mit relativ geringer Pollenauswehung auftritt, ist diese Untervertretung ihres Pollens einleuchtend. Auch in k9 haben die Gräser den grössten Influx.

Insgesamt ist über die letzten 2000 Jahre zu sagen, dass zwar Unterschiede zwischen Prozent- und Influxdiagramm vorhanden sind, diese jedoch nicht so ins Auge fallen wie im Spätglazial. Abschliessend seien für einige Arten die wichtigsten Unterschiede zwischen den Diagrammtypen zusammengefasst (vergleiche Abbildung 34):

Juniperus: %: Maximum c1—d1, sek. Gipfel d3; Influx: Maximum c2—d1, sekundäre Gipfel k6—7;

Betula: %: Maximum d4, d1, sek. Gi. e3/4; Influx: Max. k5/h3, sek. Gi. (geordnet nach Mächtigkeit) k4, k2, e3, k1, e1, d1;

Pinus: %: Max. e2, sek. Gi. e1, k7, d2/3; Influx: Max. e2, sek. Gi. k9, k7, e1, e3, f1;

Fraxinus: %: Max. g2; Influx: Max. k1, 2, 3 und 9;

Quercus: %: Max. k5; Influx: Max. k5, k1, f1, k6;

Fagus: %: Maxima h1, h2, k3; Influx: Maxima g2, h2/k3, sek. Gi. h3;

Corylus: %: Die Kurven für Prozent und Influx von *Corylus* stimmen weitgehend überein. Influxänderungen von *Corylus* verlaufen also stets gleichsinnig zu Änderungen des Gesamtinflux, beziehungsweise ziehen diese nach sich. Aufgrund der Berechnungsweise werden die Schwankungen der Influxkurve stärker als die der Prozentkurve.

Gräser: %: Max. in b1—2; Influx: Max. in k8—9;

Sauergräser: desgleichen, ebenso *Artemisia*.

- 4.5. *Sauerstoffisotopenkurven* (siehe Pollendiagramm Nu 10, Abbildung 30 und Abbildung 37). Die Konzentration des Sauerstoffisotops ^{18}O ist als Abweichung von einem Standard in ‰ angegeben. Die physikalischen Grundlagen der Methode sind kompliziert (vergleiche 26). Mehr negative Werte (Kurve verläuft weiter links) werden als tiefere Temperaturen, mehr positive Werte als höhere Temperaturen gedeutet. Eine Eichung und damit Ermittlung einer Temperaturkurve ist derzeit noch nicht möglich.

Bei der Kurve von Nu 10 ist der positive Temperatursprung am Ende von Ia offenbar nicht mehr erfasst. Ein kurzer Rückschlag vor einer stärkeren Erwärmung in Ib liesse sich zwar mit den Ergebnissen der Influxdiagramme vereinbaren, doch scheint die dortige Influxdepression mit dem Verdrängungseffekt besser erklärt. Bei 735 cm könnte der Rückschlag von Ic erfasst sein, doch verbietet die Tatsache, dass es sich um einen einzelnen Messwert handelt, eine definitive Interpretation.

Zur weiteren Klärung soll die Sauerstoffisotopenkurve aus dem Spätglazial von Nu 2 beitragen (Abbildung 37): Sie zeigt kompliziertere Verhältnisse, als zunächst zu erwarten war. Die Isotopenkurve fällt, nachdem bereits gegen Ende von Ib ein kurzer Rückschlag eintrat, von sehr hohem Niveau am Beginn von Ic auf einen sehr niedrigen Wert an dessen Ende. Der schwache Wiederanstieg am Anfang von II wird von einem weiteren Rückschlag unterbrochen, bevor die Kurve auf das normale Niveau des Allerød klettert (mit Beginn der Kieferndominanz). Die Isotopenkurve eilt also der Vegetationsentwicklung nicht voraus, sondern verläuft genau synchron. Dem Beginn des Hauptrückschlags entspricht der Kieferngipfel mit Maximum bei 387 cm, demzufolge bedingt durch verstärkten Fernflugeinfluss bei geschädigter örtlicher Vegetation. Das weitere Absinken der Isotopenkurve brachte anscheinend eine Schädigung der Kiefernwälder klimagünstiger Gebiete mit sich — Kiefernkurve und Gesamtinflux sinken. Der Anstieg der Isotopenkurve bei 383 cm ist von einem leichten Influxanstieg begleitet, und auch bei 382 (Absinken) und 381 cm (Konstanz) verlaufen Isotopenkurve und Influx gleichsinnig. Lediglich der Tiefstand der Isotopenkurve bei 380 cm deckt sich offenbar nicht mit der Vegetationsentwicklung, die nun, wenngleich noch zögernd, voranschreitet. Zur Betrachtung des jüngeren Allerød bietet sich wieder Profil Nu 10 an.

Die Depression bei 712,5 cm, knapp unterhalb des Laacher Bimstuffs, dürfte der Gerzenseeschwankung (26) entsprechen. Sie ist verknüpft mit dem er-

sten der beiden allerødzeitlichen Birkenvorstösse. Sehr deutlich zeichnet sich der Klimarückschlag der jüngeren Dryaszeit ab (705 bis 680 cm). Ihr Ende ist bei Nu 10 pollenfloristisch schwer festzulegen, da hier der Birkenvorstoss zweigipflig ist. Die Isotopenkurve weist den ersten Birkenvorstoss noch in III, er hätte somit lokalen Charakter, da er den übrigen Profilen fehlt. Mit dem zweiten, stärkeren Birkenvorstoss, der auch mit dem Erscheinen der thermophilen Gehölze verknüpft ist, steigt die Isotopenkurve steil an.

Die Ausdeutung kleinerer postglazialer Schwankungen der Isotopenkurven als klimatische Änderungen ist noch umstritten. Die folgenden Bemerkungen zum Verlauf der Isotopenkurve bei Nu 10 wollen deshalb als Arbeitshypothese verstanden sein. So könnten die Temperaturen in der zweiten Hälfte von V etwas niedriger gewesen sein als zuvor und an der Wende V/VI wieder angestiegen sein. Für VI könnte sich eine Temperaturdepression in der ersten und in der zweiten Hälfte abzeichnen. Am Anfang, in der Mitte und am Ende scheint es wärmer gewesen zu sein. Insgesamt war das Klima anscheinend aber wesentlich günstiger als in der folgenden Zeit, denn an der Wende VI/ VII/ VIII (der genaue Zeitpunkt ist wegen zweier Hiaten von 1800 beziehungsweise 400 Jahren nicht erfasst) sinkt die Isotopenkurve auf ein wesentlich tieferes Niveau (knapp über dem des Allerød) und bleibt bei geringen Schwankungen in dieser Grössenordnung. Diese Depression der Isotopenkurve an der Wende VI/ VII ist, wenngleich weniger deutlich, auch am Mindelsee gefunden worden (86). Die Isotopenkurve von den Nussbaumer Seen zeigt 3 kurzfristige Rückschläge in VIII Ende k2, h2 und Übergang h2/ k3) und verläuft dann am Übergang nach IX stabil, bis sie im Verlauf von IX (2mal in k4 und zu Beginn von k5) erneut kleine Rückschläge zeigt. Am Mindelsee (86) liegt eine Depression am Anfang von IX, was diesen Befund bestätigt.

4.6. *Geochemische Ergebnisse*

In den Abbildungen 16 bis 18 sind die geochemischen Ergebnisse der Untersuchung von Profil Nu 8 dargestellt, und zwar Kalkgehalt, Glühverlust und Tongehalt (Abbildung 16), Calcit-, Silikat-, Dolomit- und organischer Anteil (Abbildung 17), sowie die Konzentrationen der Schwermetalle Eisen, Chrom, Nickel, Titan, Vanadium, Mangan, Kupfer, Zink, Blei und Cadmium und der Phosphatgehalt (nur wenige Werte in den obersten Schichten, als anorganisches Phosphat und Gesamtphosphat, die Differenz entspricht dann dem organischen Phosphat; Abbildung 18). In dieser Abbildung sind links im Anschluss an die Tiefe das Alter in Radiocarbonjahren BP und die lokalen Pollenzonen aufgetragen. Bei den Kurven der Schwermetallkonzentrationen sind die unterschiedlichen Massstäbe zu beachten!

Die Schwermetallkonzentrationen wurden am Atomabsorptionsspektrometer, die Calcit- und Dolomitgehalte am Röntgendiffraktometer der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München gemessen, die übrigen Parameter von Nu 8 am Geographischen Institut der Universität München. Die Glühverlustkurve von Nu 4 (siehe Pollendiagramm) ermittelte ich selbst.

Da Tonmineralien einen gewissen Schwermetallgehalt haben [Tongesteinsstandard = TGS, (141)], muss bei der Frage nach artifizieller Schwermetallanreicherung der Tonanteil des Sediments berücksichtigt werden. Auch nahezu tonfreie limnische Sedimente haben einen natürlichen Schwermetallgehalt, der als background (BG) bezeichnet und – wie der TGS – bei den jeweiligen Schwermetallkurven eingetragen ist. Der unter natürlichen Bedin-

gungen zu erwartende Schwermetallgehalt liegt dann je nach Tongehalt irgendwo zwischen den beiden Marken BG und TGS (streng genommen wäre freilich die Erhöhung des Tongehalts und die dadurch bedingte Schwermetallanreicherung in den jüngeren Sedimentschichten auch bereits artefiziell). Übersteigt nun der tatsächliche Wert die irgendwo zwischen BG und TGS zu erwartende Schwermetallkonzentration signifikant, so kann man von artefizieller Anreicherung ausgehen. Mit welchen Transportmechanismen die Schwermetalle ins Sediment gelangen, beschreiben (32) und (99). Da es sich bei den Nussbaumer Seen um schwach durchflossene Seen handelt, dürfte bei ihnen auch die Befrachtung durch Aerosole eine Rolle spielen.

Der Kalkgehalt von Nu 8 steigt kurz nach 7500 BP, also im Klimaoptimum, kurz vor der Bucheneinwanderung, abrupt an. Damit nehmen auch die Sedimentationsraten gewaltig zu. Von da an bis nach der Römerzeit liegt der Kalkgehalt zwischen 60 und 80%. Seine Maxima sind mit den Kulturphasen korreliert. Nach der Römerzeit sinkt der Kalkgehalt auf 20 bis 50% und ist nicht mehr mit gesteigerter menschlicher Aktivität verknüpfbar.

Der Tongehalt von Nu 8 sinkt im Verlauf von Spätglazial und Frühpostglazial von gut 60% auf rund 5% und lässt bis 3500 BP keine Zusammenhänge mit Kulturphasen erkennen. Danach sind die Bronzezeit (um 3300 BP), die Hallstattzeit (2900 BP) und die Römerzeit (um 1750 BP) mit erhöhtem Tonanteil (bis 15%) verknüpft. Mit den mittelalterlichen Rodungen (zirka 1200 BP) schnellte der Tongehalt auf 50 bis 60% hoch und bleibt bis zur Gegenwart auf diesem Niveau.

Bei Nu 4 sinkt der mineralische Anteil in d1 von fast 100% auf 50 bis 60%, bleibt bis e2 in dieser Höhe und sinkt ab e3 bis f2 langsam ab, bis er unter 5% liegt. Er erreicht ab k4 wieder 5 bis 10% und in den beiden obersten Proben (k8) fast 40%.

Das Verhältnis Calcit/ Dolomit/ Silikat lässt bei Profil Nu 8 keine signifikanten Änderungen erkennen.

Alle Schwermetallkonzentrationen zeigen in Abhängigkeit vom Alter des Sediments im Prinzip das gleiche Verhalten: einem hohen und stark schwankenden Niveau vor 8000 BP steht ein konstant niedriges Niveau zwischen 8000 BP und zirka 1300 BP gegenüber. Dann erreichen die Schwermetallkonzentrationen sprunghaft ein sehr hohes Niveau. Die Höchstwerte (meist deutlich über dem TGS) werden im allgemeinen knapp unter der Sedimentoberkante erreicht.

Im waldfreien Spätglazial liegen die Konzentrationen bei Nickel, Mangan, Zink und Cadmium über dem TGS, bei Eisen und Blei unter dem TGS; bei Chrom, Titan, Vanadium und Kupfer stimmen Konzentration und TGS überein. Dies liesse mineralogische Rückschlüsse auf die Ausgangsgesteine des glazialen Tons und damit auf das Nährgebiet des Gletschers zu.

Nach einem Abfall der Konzentrationen in der allerødzeitlichen Gytta zeigen alle Elemente ausser Kupfer und Vanadium einen Pik, der das Niveau von Ia oft weit übertrifft und der dem Laacher Bimstuff zugeordnet werden kann. Auch dieser lässt sich somit anhand seines Schwermetallgehaltes charakterisieren: Er enthält sehr viel Zink, Titan und Nickel, viel Mangan und Cadmium, mässig Chrom, Eisen, Blei und Vanadium. Kupfer fehlt ihm ganz. Die bereits etwas früher ansteigende Eisenkurve könnte unter Umständen Ausdruck des früheren allerødzeitlichen Eifelvulkanismus sein (33). Der nur langsam auf 5% sinkende Tongehalt lässt die Schwermetallkonzentrationen ebenso langsam auf BG-Level absinken (Ausnahmen: Mangan und Vanadium; für das Fehlen von Mangan zwischen 11 000 BP und zirka 7500 BP könnten reduktive Bedingungen des rein organischen, kalkarmen Sediments verantwortlich sein (99).

Für Chrom und Vanadium liegt der BG dann auf einem Niveau, das analytisch nicht mehr nachweisbar ist.

Erstes, merkliches Überschreiten des BG ist bei 780 cm (zirka 3300 BP) zu erkennen, und zwar bei Chrom, Nickel, Titan und – bedingt – bei Kupfer. Ob dies nur Folgen des erhöhten Tonanteils im Sediment sind, oder Anzeichen der beginnenden Metallverarbeitung, bleibt offen.

Auch ein mit der Hallstattzeit zu verknüpfender Anstieg der Eisenkurve kann seine Ursache im hier erhöhten Tonanteil haben. Signifikant und nicht mehr allein mit gestiegenem Tonanteil erklärbar werden die Konzentrationszunahmen erst zur Römerzeit (Eisen, Chrom, Nickel, Titan, Mangan, Zink, Blei und Cadmium). Die Bleikonzentration ist doppelt so hoch wie der BG. Allerdings liegen alle Konzentrationen noch deutlich unter dem TGS. Bestätigt wird dieses Bild durch den Rückgang der Kurven auf die BG-Werte zur Völkerwanderungszeit.

Die frühmittelalterliche Landnahme (zirka 1200 BP) lässt die Schwermetallkurven in die Höhe schnellen: Eisen auf das 8fache des BG und das Doppelte des TGS, Chrom auf den TGS (Vergleich mit BG nicht möglich, da dieser = 0), Nickel auf das 5fache des BG und das 1,5fache des TGS, Titan auf das 6fache des BG und das 1,3fache des TGS, Vanadium auf das Doppelte des TGS (BG siehe Chrom!), Mangan auf das Doppelte des BG und das 3fache des TGS, Kupfer auf das Doppelte des BG und das 3fache des TGS, Zink auf das 3fache des BG und das 2,5fache des TGS, Blei auf das 10fache des BG und das 1,5fache des TGS, sowie Cadmium auf das Doppelte des BG und das 1,3fache des TGS.

Alle Konzentrationen bleiben während des Mittelalters in dieser Höhe, schwanken in der frühen Neuzeit (bis zirka 1850 AC) gleichsinnig um konstante Mittelwerte und verhalten sich ab da unterschiedlich: Die Kurven von Eisen, Chrom, Nickel, Titan, Vanadium und Mangan bewegen sich zunächst auf konstanter Höhe und sinken in den obersten Schichten (ab zirka 1960 AC) leicht ab. Die Kurve von Zink steigt bis zirka 1950 AC leicht an und bleibt dann konstant. Die Kupferkurve beginnt um 1930 AC anzusteigen, erreicht um 1955 AC das 8fache des BG und sinkt dann wieder ab. Die Kurven von Blei und Cadmium beginnen um die Jahrhundertwende noch einmal anzusteigen und erreichen zur Jahrhundertmitte ihre Höchstniveaux, die sie dann mit Schwankungen bis zur Gegenwart beibehalten (Blei das 16fache, Cadmium das 3fache des BG).

Die Rückgänge vieler Kurven an der Sedimentoberkante sind durch Reduktionsverluste in anaerobem Milieu zu erklären. Legte man solche Verluste bei den nicht abfallenden Kurven ebenfalls zugrunde, so wären die Anreicherungen noch signifikanter. Wie bereits eingangs angedeutet, ist allerdings ein Teil des Konzentrationsanstiegs seit dem Frühmittelalter nicht auf Luft- und Gewässerverunreinigung, sondern auf den Anstieg des Tonanteils im Sediment auf den 12fachen Betrag (Ursache: Bodenerosion durch die Landwirtschaft) zurückzuführen. Für die jüngeren Zunahmen von Kupfer und Zink kommt die Ausweitung metallverarbeitender Industrien in Frage. Bei Zink tritt als weitere mögliche Ursache die Verwendung von verzinkten Wasserleitungen hinzu (99). Bei Cadmium ist an Farbenfabrikation, bei Blei an Motorenabgasen (Bleitetraäthyl als Antiklopffzusatz in Kraftstoffen) zu denken (99). Bei der Interpretation von Schwermetallkonzentrationskurven muss allerdings auch die Möglichkeit vertikaler Verlagerungen erwogen werden.

4.7. *Grossreste*

Die Ergebnisse der Untersuchung der botanischen Grossreste sind in den Abbildungen 35 und 36 dargestellt. Bei Nu 10 (Abbildung 36) wurde das gesamte Profil untersucht, bei Nu 4 (Abbildung 35) bislang nur das Spät- und Frühpostglazial. Bei bestimmten Resten wurde die Häufigkeit nur geschätzt. Diese sind durch eine schwarze Raute gekennzeichnet. Die Mehrzahl der Funde wurde ausgezählt. Die Mengenangabe erfolgt dort in Funden pro Probe, wobei das Probenvolumen etwa 90 cm³ betrug. Die links in den Dia-

grammen neben dem Tiefenmassstab eingetragenen Zonen erlauben den direkten Vergleich mit den Pollendiagrammen.

Im Spätglazial überwiegen Reste von Bäumen, speziell von *Betula* und *Pinus*, im Postglazial dagegen solche von Wasserpflanzen. Das Vorkommen der Zwergbirke vor der Baumbirkeneinwanderung wird belegt, ebenso der Bewaldungsrückgang des Älteren Dryas, nicht jedoch derjenige der Jüngeren Dryas. Pappeln kamen offenbar schon im Spätglazial im Gebiet vor.

Der Nachweis von *Ceratophyllum* sp. in Nu 4 bestätigt die andersartige Verlandung in diesem Toteisloch. Von den übrigen Wasserpflanzen wanderte — abgesehen von Laichkrautarten — offenbar *Nymphaea alba* zuerst ein (IV). Später sind die Samen von *Cladium mariscus* (seit Anfang V), *Schoenoplectus lacustris* (regelmässig ab VI) und *Najas marina* (Ab Mitte V bis Anfang VIII + Einzelfund Mitte VIII) am häufigsten. Die Anwesenheit von *Alnus glutinosa* ist seit Mitte V, ihr massiertes Auftreten ab Mitte VI (g1) belegt.

Besonders zahlreiches Auftreten von *Cladium mariscus* und *Schoenoplectus lacustris* bei 400 cm auf Höhe des grossen Hiatus legen dessen Zusammenhang mit dem Seespiegeltiefststand nahe, der somit unter Umständen noch bedeutend tiefer war als angenommen (vergleiche Kapitel 5.1. und Abbildung 19!).

Weitere Arten, besonders Einzelfunde, werden in Kapitel 8.1. gewürdigt.

5. Folgerungen

5.1. Entwicklung des Sedimentationsraumes Nussbaumer Seen seit dem Ende der letzten Eiszeit

Die Seengeschichte befasst sich mit Gestaltveränderungen der Seebecken (Verlandung), mit Seespiegelschwankungen sowie mit der limnischen und litoralen Vegetation und ihren Veränderungen. Alle 3 Erscheinungen sind miteinander verknüpft und von weiteren Faktoren (Klima, menschliche Eingriffe und anderen) abhängig. Sie sollen hier gemeinsam und chronologisch betrachtet werden.

Vertikale Änderungen des Sedimenttyps und der limnisch/litoralen Vegetation in bestimmter Abfolge zeigen Verlandungsvorgänge an (123). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Verlandung kein punktuell, sondern ein gleitendes Ereignis ist, das längere Zeitspannen und entsprechend mächtige Sedimentpakete umfasst. Hier ist von Verlandung s.str. als dem Übergang von limnischer zu telmatischer Sedimentation, nicht von Verlandung s.l. als Abnahme der Wassertiefe die Rede.

Über Seespiegelschwankungen im Spät- und Postglazial äussern sich unter anderem (42), (90), (126) und — in neuerer Zeit — (24), (2), (123), (142) sowie (143). Bei der Sichtung der Kriterien für Seespiegelschwankungen muss man, um Irrtümern vorzubeugen, scharf zwischen Ansteigen und Absinken des Pegels unterscheiden, auch wenn beides sukzessiv auftritt.

Hinweise auf Seespiegelabsenkung können folgende Erscheinungen geben (siehe auch [123]):

1. Scharfe Wechsel im Sedimenttyp.
2. Fehlen genetischer Zwischenstufen bei der Sedimenttypenabfolge (zum Beispiel Bruchwaldtorf unmittelbar über Seekreide).
3. Hiaten im Pollendiagramm.
4. Sprunghaftes Erscheinen von Pollentypen (vergleiche 3.)
5. Vermehrte Nachweise von Verlandungsprozessen s.str. pro Zeitabschnitt.
6. Verringertes Wachstum oder stärkere Zersetzung telmatischer Sedimente (nur bedingt gültig).