

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
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: 28.03.2026

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

Geschichte der Nussbaumer Seen
(Kanton Thurgau)
und ihrer Umgebung seit dem Ausgang
der letzten Eiszeit
aufgrund quartärbotanischer,
stratigraphischer und sedimentologischer
Untersuchungen

von Manfred Rösch

10741
125458

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
1. <i>Einleitung</i>	9
2. <i>Untersuchungsgebiet</i>	10
2.1. Geographische Lage	10
2.2. Geologische Verhältnisse	11
2.3. Klima	12
2.4. Heutige Vegetation	12
2.5. Zur Besiedlungsgeschichte	16
3. <i>Arbeitsweise</i>	16
3.1. Feldarbeit	16
3.2. Laborarbeit	17
3.3. Darstellung der Ergebnisse	18
4. <i>Ergebnisse</i>	21
4.1. Stratigraphie des Sedimentationsraumes Nussbaumer Seen	21
4.2. Beschreibung der Bohrprofile und Pollenprozentdiagramme	31
4.3. Chronologie	43
4.3.1. Synchronisierung der Pollendiagramme	43
4.3.2. Zeitstellung der Diagramme	44
4.4. Influx-Diagramme	51
4.5. Sauerstoffisotopenkurve	60
4.6. Geochemische Ergebnisse	61
4.7. Grossreste	63
5. <i>Folgerungen</i>	64
5.1. Entwicklung des Sedimentationsraumes Nussbaumer Seen seit dem Ausgang der letzten Eiszeit	64
5.2. Vegetationsentwicklung zwischen Rhein und Thur im Bereich des einstigen Seebachlappens seit dem Ausgang der letzten Eiszeit	72
5.3. Zur Klimageschichte	80
5.4. Zur Beeinflussung der Vegetation durch den Menschen seit dem Neolithikum	83
6. <i>Zusammenfassung</i>	91
7. <i>Literaturverzeichnis</i>	97
8. <i>Anhang</i>	
8.1. Florenliste der Fossilfunde	104
8.2. Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen <i>Transsekte und Pollendiagramme</i> (Beilagen)	109

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1979 bis 1982 am Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. *G. Lang*. Folgende Damen und Herren trugen mit zum Gelingen des Werks bei, wofür ihnen hier ganz herzlich gedankt sei:

Herr Prof. Dr. *G. Lang* war stets mit Rat und Tat zur Stelle und wirkte auch bei den Feldarbeiten mit. Herr Dr. *M. Küttel*, Stuttgart-Hohenheim, machte mich auf das Untersuchungsobjekt aufmerksam und gab mir wichtige Ratschläge. Herr Prof. Dr. *G. Oeschger* und Frau *T. Riesen*, Physikalisches Institut der Universität Bern, führten die Radiocarbonbestimmungen durch, Herr Dr. *U. Eicher*, Langenthal, die Sauerstoffisotopenanalysen, Herr Dr. *G. Michler*, Geographisches Institut der Universität München, und Herr Dr. *P. Schramel*, Institut für angewandte Physik der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München, die physikalisch-chemischen Sedimentanalysen. Bei den Feldarbeiten waren mir Fräulein *C. Scherrer* und die Herren *A. Hofmann*, *M. Rüfenacht* und *K. Ruch*, alle vom Systematisch-Geobotanischen Institut der Universität Bern, behilflich. Unterstützung erhielt ich auch von den Kollegen am Systematisch-Geobotanischen Institut, von Frau Dr. *B. Ammann-Moser* und – bei der Diagnose manch schwierigen Pollentyps – von Fräulein Dr. *R. Schneider*. Herr Dr. h.c. *R. Sutter* revidierte mir einige Gefässpflanzenbestimmungen, Herr Dr. *K. Ammann* und Fräulein *B. Irlet* einige Moosbestimmungen und Herr Doz. Dr. *K. Tobolski*, Poznan / Bern die Makroreste. Aus Frauenfeld gaben mir die Herren Konservator Dr. *A. Schläfli*, Kantonschullehrer Dr. *H. Andresen*, Kantonsarchäologe *J. Bürgi*, Kantonsforstmeister Dr. *C. Hagen*, Forsting. *H. Nussbaumer*, Dipl. Phil. Geol. *E. Müller* und besonders Staatsarchivar i. R. Dr. *B. Meyer* wichtige Hinweise.

Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung ermöglichte mir durch die Gewährung eines Stipendiums für das letzte Untersuchungsjahr einen zügigen Abschluss der Arbeit.

Zu guter Letzt danke ich ganz besonders meiner Frau, die nicht nur sehr viel Geduld und Verständnis in diesen drei Jahren aufbringen musste, sondern mich darüber hinaus noch nach besten Kräften unterstützte, sowohl bei den zahlreichen Bohraktionen und sonstigen Feldarbeiten als auch bei den zeitraubenden Zeichen- und Schreifarbeiten.

1. Einleitung

Die ersten pollenanalytischen Untersuchungen im westlichen Bodenseegebiet, dem die Nussbaumer Seenplatte zugehört, stammen aus den zwanziger Jahren, also aus der Pionierzeit der Pollenanalyse. [Siehe Literaturverzeichnis: Nr. (12), (14), (43), (75), (76), (133), (134), (135).] Nachdem in den vierziger Jahren die Methodik, unter anderen durch Verringerung der Probenabstände und Berücksichtigung der Nichtbaumpollen, verbessert worden war, gehörte das westliche Bodenseegebiet wiederum zu den zuerst erforschten Landschaften (105), (106). In den folgenden 20 Jahren, als mit höheren Pollensummen, besserer Bohrtechnik und Pollendiagnostik und noch engeren Probenabständen besonders die Probleme der spätglazialen Vegetationsentwicklung angegangen wurden, trugen *Lang* (80), (81) vornehmlich in den angrenzenden Gebieten, *Göttlich* (47) in Oberschwaben, *Lüdi* (91), *H. Müller* (102) im östlichen Bodenseegebiet und vor allem *A. Bertsch* (11) zur Aufklärung der regionalen Verhältnisse bei. Dazu kommen aus den südlich angrenzenden Gebieten mit grösseren Höhenlagen die Untersuchungen von *A. Hoffmann* (63), (64). Aus neuerer Zeit liegen die Arbeiten von *Lang* (88) vom rund 20 km nordöstlich der Nussbaumer Seen gelegenen Mindelsee, von *Geyh, Merkt, Müller & Streif* (45), (46) aus dem östlichen Bodenseegebiet und von *P. Wegmüller* (151) aus den Thuralpen vor. Es wäre falsch, hieraus den Schluss zu ziehen, die Vegetationsgeschichte im Rheingletschergebiet sei zur Genüge erforscht. Seit den eingangs erwähnten klassischen Arbeiten ist nämlich auf Schweizer Seite in dem zur collinen bis submontanen Stufe gehörenden Gebiet, das an das südliche Bodenseeufer anschliesst und relativ früh eisfrei wurde, nichts mehr erschienen, und auf deutscher Seite liegen lediglich die Untersuchungen vom Mindelsee, Schleinsee und Degersee vor, die entweder ohne ^{14}C -Daten oder ohne ausführliches Pollendiagramm publiziert sind. Hinzu kommt, dass die Methoden durch die Einführung der Absolutanalyse und die Erstellung von Influxdiagrammen in den letzten Jahren entscheidend verbessert werden konnten. So bot sich eine gründliche Untersuchung der Nussbaumer Seen an, die bislang — sieht man vom erstmaligen Nachweis des Laacher Bimstuffs auf Schweizer Boden durch *F. Hofmann* (65) ab — vor dem Zugriff des Quartärforschers bewahrt blieben.

Die Untersuchung sollte monographischen Charakter tragen, also möglichst viele mit quartärbotanischen Mitteln lösbare Fragen angehen, insbesondere:

- die vollständige Vegetationsabfolge in der Region seit dem Abschmelzen des Würmeises;
- die Entstehung und Entwicklung des Sedimentationsraumes im gleichen Zeitraum;
- die Veränderungen des Klimas seit der letzten Eiszeit;
- die Eingriffe des Menschen in die Vegetationsdecke und in den Gewässerhaushalt, insbesondere seit dem Neolithikum.

Zur Klärung dieser Fragen sollte die gezielte Erarbeitung einer Reihe von Pollendiagrammen mit ^{14}C -Daten und Untersuchung der botanischen Grossreste in Verbindung mit sedimentologischen Untersuchungen und die Erforschung des Sedimentkörpers durch zahlreiche Sondierbohrungen dienen. Im Verlauf der Untersuchungen bot sich dann die Möglichkeit, diese Ergebnisse durch den Einsatz weiterer physikalischer und chemischer Methoden zu ergänzen.

2. Untersuchungsgebiet

2.1. Geographische Lage

Die Nussbaumer Seen liegen in der Nordostschweiz im Kanton Thurgau, in einer Höhe von 434 m über Meer (Abbildung 1). Das Tal des Seebachs, der sie nach Südosten zur nach Westen fliessenden Thur entwässert, ist von deren etwas tiefer liegendem Tal im Süden durch einen rund 500 m Seehöhe erreichenden Rücken getrennt. Im Norden scheidet der über 600 m hohe Stammerberg als Ausläufer des Thurgauischen Seerückens das Tal von dem des Rheins, der gerade bei Stein am Rhein den Bodensee verlassen hat. Die Seenplatte selbst, bestehend aus Hüttwilersee, Nussbaumersee und Hasensee, erstreckt sich über ein Gebiet von $3 \times 1,5$ km. Die Ausmasse der einzelnen Seen, entnommen aus (58) sind in Tabelle 1 zu sehen.

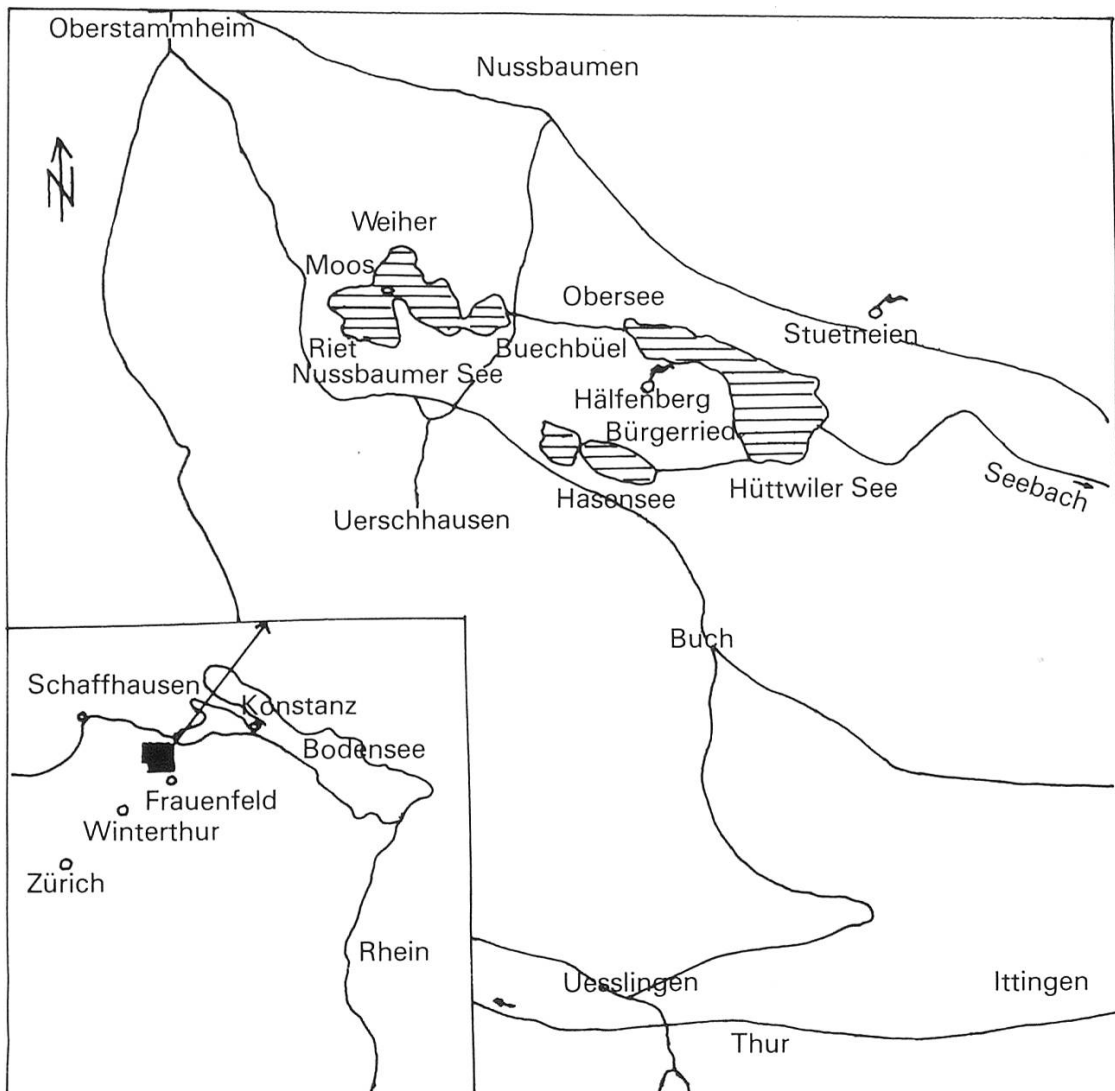


Abbildung 1: Die Lage der Nussbaumerseen

Grosse Karte 1:50 000

Kleine Karte 1:2 000 000

Tabelle 1: Ausmasse der Nussbaumerseen (aus Heigl & Scheidegger 1979)

	Hüttwilersee	Nussbaumersee		Hasensee		
		Uersch- hauser Becken	Mitt- leres Becken	Unteres Becken	West- becken	Ost- becken
Wasserfläche (ha)		10,2	10,6	3,8	3,8	7,1
Total	35,0		24,6			10,9
Grösste Länge (m)	1250	440	580	260	250	440
Grösste Breite (m)	560	340	230	180	200	180
Grösste Tiefe (m)	16,5	6,5	8,2	4,0	7,0	5,5
Einzugsgebiet (km ²)	3,71		5,87			2,52

2.2. Geologische Verhältnisse

Auf die geologischen Verhältnisse des Gebiets soll nur soweit eingegangen werden, wie es zum Verständnis des Folgenden nötig ist. Tiefere Einblicke geben (66), (101) und (55)–(57), auf deren Ergebnisse ich mich bei meinen Ausführungen stütze. An älteren Untersuchungen sind (25) und (39) zu nennen.

Die Nussbaumer Seen verdanken ihre Entstehung in der heutigen Gestalt der formenden Kraft des würmzeitlichen Rheingletschers. Dieser breitete sich im Bodenseegebiet fächerförmig aus. Ein Teil des Eises strömte bei Wildhaus ins obere Thurtal und bildete den Thurgletscher – südlich der im Bodenseegebiet liegenden Haupteismassen. Von diesem Gletscher erstreckte sich ein Seitenlappen nach NW ins geomorphologisch vorgeprägte Seebachtal und stirnte zur Zeit der maximalen Vereisung nach erneuter Vereinigung mit den benachbarten Gletscherzungen im Gebiet von Schaffhausen. Zu diesen Zeiten – über Anzahl und Dauer würmzeitlicher Eisvorstösse im Alpenraum äussern sich unter anderem (35), (36), (56), (57) sowie (157) – war somit der gesamte Thurgau, mit Ausnahme der höchsten Erhebungen des Hörnli-berglandes, unter Eis begraben.

Als die rückschmelzenden Gletscher das Land wieder freigaben, liessen sie auf ihrem etappenweisen Rückzug verschiedene Endmoränenwälle und vorgelagerte Schotterfelder zurück, anhand derer die Rückschmelzstadien der einzelnen Eislappen synchronisiert werden können. So entspricht die Phase, während der die Schmelzwassermassen des abgetauten Seebachlappens den Ur-Nussbaumersee bildeten, den Stadien *Dätwil/Stein am Rhein* des Bodensee/Rheingletschers beziehungsweise *Zürich* des Rhein/Linthgletschers.

Knapp westlich des Nussbaumer Sees hatte der Gletscher 3 Endmoränenwälle hinterlassen und die Ebene des Zungenbeckens von Stammheim/Waltalingen aufgeschottert, bevor er – vom Haupteisstrom im Thurtal abgetrennt – rasch zusammenschmolz. Die Bildung von Schmelzwasserseen zwischen den letzten Endmoränen und dem zurückgewichenen Eis war häufig. Nur ein kleiner Teil dieser Seen ist bis heute erhalten geblieben.

Der Wasserspiegel des im Westen durch die Endmoräne, im Osten zunächst durch das Eis abgedämmten Nussbaumer Sees lag zunächst bei Kote 441 m. Der Abfluss erfolgte später, nach dem Stand von *Frauenfeld* ($\triangleq$ *Steckborn* beziehungsweise *Thalwil*), entgegengesetzt zur Abflussrichtung der Schmelzwässer nach SO zum Thurtal. Die Schwelle lag am Ostende des Sees

ursprünglich einiges tiefer, wurde aber durch verstärkte Ablagerung von Sanden und Seetonen noch in der Abschmelzphase rasch angehoben. Auf die Gestalt und die Ausmasse des spätglazialen Sees, das Absinken des Seespiegels und den Zerfall des Sees in 3 Teilseen, sowie auf deren Verlandung, wird in den Kapiteln 4.1. und 5.1. ausführlich eingegangen.

2.3. *Klima*

Die nächstgelegenen meteorologischen Stationen befinden sich in Frauenfeld, Niederneunforn und Kalchrain. Die letztgenannte Station liegt 150 m höher als die Seen. Das nächstgelegene Niederneunforn liefert nur Niederschlagsdaten, die geringfügig niedriger liegen als die von Frauenfeld (Jahressumme 859 zu 925 mm). Die vollständigsten Daten liefert die nur wenig weiter entfernte und in der Meereshöhe genau übereinstimmende Station Frauenfeld. Die Angaben wurden (128) und (144) entnommen und zu dem Klimadiagramm der Abbildung 2 zusammengestellt [Darstellungsmodus siehe (148)].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gegend ein mild-humides Klima hat, das verschiedene landbauliche Nutzungen erlaubt. *Tanner* (137) weist darauf hin, dass die Seenplatte noch zur niederschlagsarmen Zone von Diessenhofen zu rechnen sei und etwa 100 mm Niederschlag weniger im Jahr erhalte als Frauenfeld.

2.4. *Heutige Vegetation*

Die Vegetationsformen des Untersuchungsgebiets sind stark vom Menschen beeinflusst oder verändert. Auf weiten Flächen sind die ursprünglichen Vegetationstypen sogar völlig von naturfernen Ersatzgesellschaften abgelöst worden. Dies gilt besonders für die unmittelbare Umgebung der Nussbaumer Seen, wo in den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts durch Seespiegelabsenkung um 2 m und Entwässerung die intensiv genutzten Flächen bis dicht ans Ufer vorgeschoben wurden. Die Torfböden wurden dabei stellenweise mit mineralischem Fremdmaterial überschüttet. Neben Getreide (Weizen, Körnermais) und Grünfutter wird Feldgemüse und Tabak angebaut, im Westen auch Grünspargel. An den Südhängen des Stammerbergs finden wir Obst- und Weinbau.

Bei Betrachtung der Verlandungsgesellschaften in und an den Seen müssen wir den oben erwähnten Eingriff bedenken, der eine Verschiebung der Gesellschaften des Litorals in den steil abfallenden Bereich des früheren Benthals nach sich zog, ganz abgesehen davon, dass die meisten Gesellschaften sich damals bestimmt neu bilden mussten. So finden wir, betrachten wir den Verlandungsgürtel entgegengesetzt der genetischen Reihenfolge von aussen nach innen, einen zumeist rudimentären Bruchwaldsaum, der nur zwischen Nussbaumer- und Hüttwiler See, an der Südwestflanke des Hüttwiler Sees und am Nordufer des Hasensees flächig ausgebildet ist und meist auf ehemaligem Torfstichgelände stockt. In der Baumschicht überwiegt *Alnus glutinosa*, der häufig *Pinus sylvestris* und *Betula pendula* beigesellt sind. *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* und andere Arten sind seltener. In der üppigen Strauchschicht finden wir neben jungen Exemplaren der genannten Arten viel *Frangula alnus*, *Salix cinerea*, *Rhamnus cathartica*, daneben *Viburnum opulus* und *Euonymus europaeus*. Die Krautschicht ist spärlich und stark verändert. Erwähnenswert ist das Auftreten von *Carex pseudocyperus* in alten, flachen Torfstichen, die periodisch mit Wasser gefüllt sind.

Interessant sind auch die Gesellschaften des Bürgerrieds zwischen Hüttwiler See und Hasensee, wo eine im Frühjahr wassergefüllte, flache Mulde ein Gefüge von Grossseggen-, Kleinseggen- und Zweizahngesellschaften beherbergt, von dem mit *Polygonum amphibium*, *Eleocharis palustris*, *Alopecurus geniculatus*, *Epilobium hirsutum*, *Rumex hydrolapathum*, sowie *Carex fusca*, *vesicaria* und *rostrata* nur einige Arten erwähnt seien.

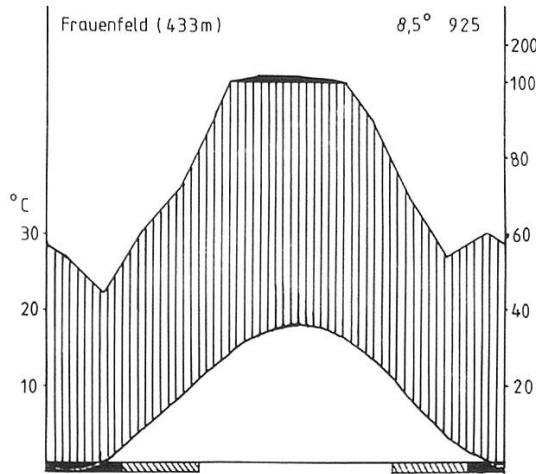


Abbildung 2: Klimadiagramm von Frauenfeld.

Treten wir aus dem Bruchwald ans Ufer, so finden wir dieses von den auffälligen Bulten von *Carex elata* gesäumt. Es gibt aber auch Stellen, wo auf ein Grauweiden-Faulbaum-Gebüsch unmittelbar der Röhrichtgürtel folgt. Auch dieser ist zumeist schmal, wenn er nicht ganz fehlt. Gebildet wird er von *Phragmites australis*, *Cladium mariscus*, *Sparganium erectum* und *Scheuchzeria palustris*. Seewärts folgt dann als letzte Makrophytengesellschaft der Seerosengürtel mit *Nymphaea alba* und *Nuphar lutea* – auch er nicht an allen Ufern. Submerse Makrophytengesellschaften konnte ich nicht entdecken. Sie sind bei der Trübe des stark eutrophierten Wassers auch kaum zu erwarten.

Die ausserhalb des heutigen Bruchwaldgürtels zu erwartenden feuchten Waldgesellschaften mit *Alnus glutinosa*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur*, *Ulmus campestris*, *Ulmus effusus* und *Carpinus betulus* sind wohl allesamt der Axt zum Opfer gefallen.

Auf Böden ohne Grundwassereinfluss herrscht, entgegen der früheren Ansicht (28) allein die Buche, wie dies bei den verbliebenen Waldresten auch zumeist der Fall ist. Die meisten dieser Wälder sind wohl zum Asperulo-Fagion zu rechnen. Bemerkenswert ist in ihnen vielleicht noch die gelegentlich massenhaft auftretende *Carex pilosa* und das Vorkommen von *Ilex aquifolium* und *Taxus baccata*. Weitere Ausführungen zur potentiellen natürlichen Vegetation folgen in Kapitel 5.

An den Nussbaumer Seen wurden noch keine vegetationskundlichen Untersuchungen durchgeführt. Diese Lücke zu schliessen war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Tieferen Einblick in die Vegetation der Region vermitteln (121), (122) und (88). Belege für inzwischen verschollene Arten finden sich bei (107)–(111), (68), (25) und (40).

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Vegetationsaufnahmen zweier Waldbestände in Seenähe wiedergegeben. Abbildung 3 verdeutlicht die heutigen Vegetationsverhältnisse des Gebiets.

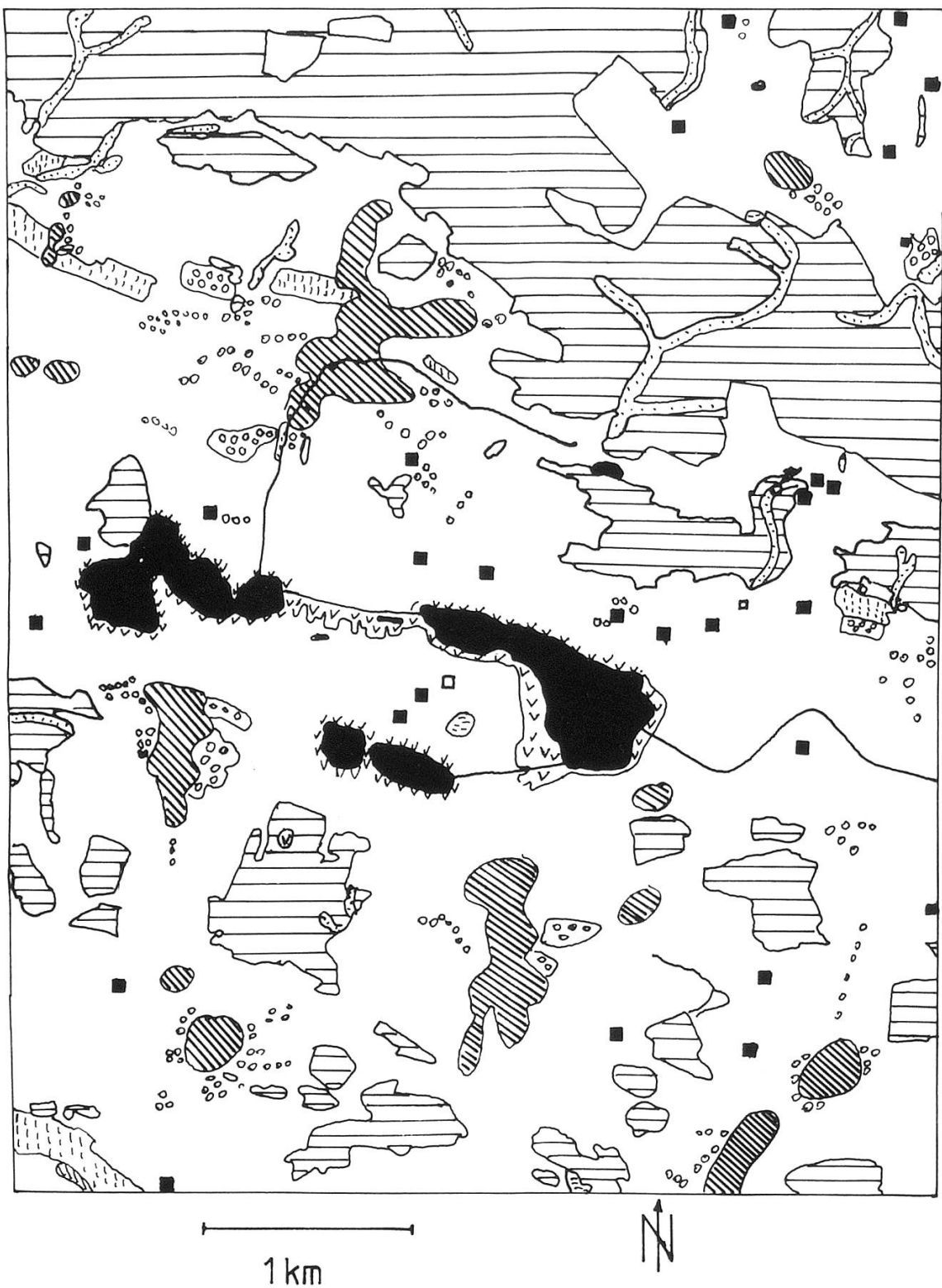


Abbildung 3: Vegetationskarte der Nussbaumer Seen und ihrer Umgebung 1:50 000;
 Grundlage: Landeskarte der Schweiz 1:25 000 Blatt 1052 Andelfingen.

Bedeutung der Signaturen:

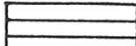
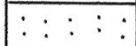
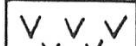
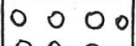
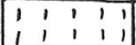
	Wälder (Fagion-Verband, z. T. forstlich stark verändert)
	Auenwälder (Eschen-Erlen-Wälder)
	Bruchwälder (Alnion glutinosae)
	Seggenrieder (Magnocaricion)
	Wasserflächen
	Wasserläufe
	landwirtschaftlich genutzte Flächen (Äcker, Wiesen, Weiden)
	Obstwiesen
	Weinberge
	Siedlungsflächen
	Einzelgehöfte
	Ruinen

Tabelle 2: Vegetationsaufnahmen zweier Waldbestände in Seenähe (Asperulo-Fagetum = Galio odorati-Fagetum):

1. Seeholz südlich des Neunforner Weihers, 702250/272800; 525 m, Neigung 3° westlich, Untergrund Würmgrundmoräne.
2. Buechenrain zwischen Uerschhausen und Buch, 703900/27300; 510 m, Neigung 1° südöstlich; Untergrund Würmschotter.

	1	2	<i>Quercus petraea</i> iuv.	1	r
Baumschicht Höhe (m)	28	20	<i>Acer pseudoplatanus</i> iuv.		r
Deckung (%)	70	85	<i>Abies alba</i> iuv.		r
<i>Fagus sylvatica</i>	3–4	4	<i>Acer campestre</i> iuv.		r
<i>Quercus petraea</i>	2	2	<i>Carex pilosa</i>	5	3
<i>Pinus sylvestris</i>	1		<i>Galium odoratum</i>	4	2
<i>Carpinus betulus</i>		2	<i>Lamium galeobdolon</i>	3	3
			ssp. <i>montanum</i>		
Strauchschicht (%)	5	5	<i>Anemone nemorosa</i>	1	2
<i>Fagus sylvatica</i>	r	1	<i>Hedera helix</i>	1	2
<i>Rubus fruticosus</i>	r	+	<i>Pulmonaria obscura</i>	+	1
<i>Picea abies</i>	1		<i>Phyteuma spicatum</i>	+	+
<i>Prunus avium</i>	r		<i>Viola reichenbachiana</i>	r	+
<i>Lonicera xylosteum</i>	r		<i>Melica nutans</i>	1	
<i>Crataegus laevigata</i>	r		<i>Potentilla sterilis</i>	+	
<i>Fraxinus excelsior</i>		+	<i>Vicia sepium</i>	r	
			<i>Oxalis acetosella</i>	r	
Krautschicht (%)	90	50	<i>Lathyrus vernus</i>	r	
<i>Fagus sylvatica</i> iuv.	1	1	<i>Polygonatum multiflorum</i>		+

2.5. *Zur Besiedlungsgeschichte*

Sichere Anzeichen menschlicher Besiedlung finden wir im Gebiet seit dem Neolithikum. Zwar sind an den Nussbaumer Seen selbst bislang keine neolithischen Feuchtbodensiedlungen ausgegraben worden, doch geschah dies in der Umgebung, so nördlich am Untersee, westlich am Husemer See und südlich und südöstlich bei Niederwil und Pfyn, zwei klassischen Schweizer Fundstätten (145), (149), (150). Auf dem Horn im Nussbaumersee lag eine spätbronzezeitliche Siedlung (132).

Aus der ersten und zweiten Eisenzeit (Hallstatt und La Tène) sind im Gebiet vor allem Hügelgräber erhalten geblieben, so im Kilchhölzli bei Uerschhausen (77).

Als eindrucksvoller einer ganzen Reihe römischer Besiedlungszeugen ist heute noch die Ruine des römischen Gutshofs bei Stutheien oberhalb des Hüttwiler Sees zu besichtigen.

Die intensive Kultivierung der Landschaft erfolgte zur Zeit der Gründung der Klöster Reichenau und St. Gallen, also zur Zeit der Karolinger. Die weitere Umgebung der Nussbaumer Seen ist somit ein altes Siedlungsgebiet.

Vor- und frühgeschichtliche Einzelfunde aus dem Seengebiet sind in (77) aufgelistet.

Der Nachweis alemannischer und frühmittelalterlicher Gräber im gesamten Untersuchungsgebiet deuten im Zusammenhang mit der ersten urkundlichen Erwähnung einer ganzen Anzahl der hiesigen Flecken und Weiler auf eine mögliche alemannische Besiedlung kurz nach dem Abzug der Römer hin. Dies würde mit dem Ende des römischen Pfyn (um 410 nach Christus) und dem Beginn des alemannischen Eschenz (5. Jahrhundert nach Christus) gut übereinstimmen (*Bürgi*, schriftliche Mitteilung).

Über die Geschichte des Dorfes Nussbaumen informiert (146), über die des Thurgaus von den Römern bis nach den Napoleonischen Kriegen (117).

3. **Arbeitsweise**

3.1. *Feldarbeit*

Aufgrund der Grösse des Untersuchungsgebietes und seiner komplizierten Topographie war eine erschöpfende Untersuchung der stratigraphischen Verhältnisse in ähnlicher Weise, wie dies *Göttlich* (47) im Pfrunger Ried oder *Schloss* (123) am Sewensee taten, nicht möglich. Anstelle eines Gitternetzes traten 15 lose zusammenhängende Transsekte, entlang derer in Abständen von 25 bis 100 m sondiert wurde. Mit den so gewonnenen knapp 200 Profilen lässt sich der Sedimentationsraum einigermaßen überblicken. Die Transsekte sind durch markante Geländepunkte, die anhand der Karte auffindbar sind, festgelegt. Die Zwischenstrecken wurden mit Kompass und durch Abschreiten ermittelt und unterteilt und später nivelliert.

Die Sondierbohrungen erfolgten mit dem Holländischen Torfbohrer («Marschlöffel»), der in allen Sedimenten rasch zuverlässige Ergebnisse lieferte. Die Proben zum pollenanalytischen Gewinn von Zeitmarken für die sondierten Profile wurden nachträglich mit dem Russischen Torfbohrer entnommen.

Für die 10 Hauptprofile, aus denen Pollendiagramme gewonnen wurden, kam ein Kolbenbohrer mit 1 m Kammerlänge und 4,8 cm Kammerdurchmesser (modifizierter

Livingstone-Bohrer) zur Anwendung (98). Dabei wurden die Profile 5 bis 8 mit dem System *Merkt* gebohrt, die Profile 1 bis 4 und 9 mit dem System *Streif*. Die beiden Systeme unterscheiden sich im wesentlichen in folgenden Punkten: Bei *Streif* erfolgt der Vortrieb maschinell, als Kammer dient ein Stahlrohr, und der Kolben wird durch einen Kugelklemmechanismus blockiert. Bei *Merkt* erfolgt der Vortrieb manuell, als Kammer dient eine in einer Messinghülse sitzende transparente Plastikröhre, und der Kolben wird am unteren Ende der Kammer durch ein Holzstäbchen gehalten, das bei Zug einfach abgebrochen wird. Gemeinsam ist den beiden Systemen das Bohrprinzip, verwirklicht im mit einer Gummidichtung satt in der Kammer sitzenden Kolben, der bei Druck am Unterende der Kammer blockiert und dadurch vorzeitiges Öffnen der Kammer verhindert, und der in der gewünschten Tiefe durch Zug über ein Drahtseil entriegelt wird. Über den nun fest am Seil hängenden Kolben wird die Kammer ins Sediment gestossen und dabei gefüllt. Dies wird dadurch unterstützt, dass wegen der abdichtenden Wirkung des Kolbens in der Kammer keine Luft verdrängt zu werden braucht. Zugleich dient das Seil als zusätzliche Sicherung des Bohrers bei Abriss des Gestänges oder ähnlichen Pannen. Bei Profil 10 erwies sich eine Kombination beider Systeme (*Merkt*-Kolben, *Streif*-Rohre, Vortrieb von Hand) als sehr zweckmässig. Die Unterwasserprofile 5 bis 8 wurden mit Hilfe einer motorgetriebenen, zerlegbaren Bohrplattform auf Aluminiumschwimmern — einer Eigenkonstruktion des Systematisch-Geobotanischen Instituts — entnommen.

3.2. *Laborarbeit*

Die Proben zur Pollenanalyse wurden nach der von (152) und (94) angegebenen Methode — erweitert um ein nach *Erdtman* modifiziertes Chlorierungsverfahren (*Bortenschlager & Tatzreiter* unpubliziert) — aufbereitet. Der Aufbereitungsprozess wurde dem jeweiligen Sedimenttyp angepasst — dergestalt, dass zur obligatorischen Acetolyse und Glycerinbehandlung bei kalkhaltigen Sedimenten Entkalkung mit 10% Salzsäure, bei Tongehalt Behandlung mit kalter oder heisser Flusssäure und bei Torfen oder Grobdetritusgyttjen die Chlorierung hinzukam.

Zur Aufbereitung gelangte in der Regel 0,5 cm³ Material, das mit einem Stecher aus dem Innern der halbierten Kerne entnommen wurde. Zwar war im Feld zu jedem Profil ein horizontal um maximal 50 cm, vertikal um genau 50 cm versetztes Parallelprofil entnommen worden, doch wurde jeweils nur eine Profilsäule beprobt: (Ausnahme: Nu 1), da die gewonnenen Kerne nur an den Enden im Bereich von maximal 1 bis 2 cm gestört waren. Bei der Zugabe der Sporentabletten für die Absolutanalyse (Sporen von *Lycopodium clavatum* beziehungsweise bei Nu 7 — Pollen von *Eucalyptus* sp.) wurde ein Sporengehalt von 40%, bezogen auf die Gesamtpollensumme, angestrebt.

Bei Glühverlustbestimmung (Profil Nu 4) und Grossrestanalyse verfuhr ich gemäss (9). Die Proben von Nu 4 (Torf und Gyttja) wurden zur Grossrestanalyse einige Tage in verdünnter HNO₃ eingeweicht, bei der Seekreide von Nu 10 wurde hierzu der Kalk mit verdünnter HCl gelöst.

Bezüglich der Methoden der nicht von mir selbst durchgeführten ¹⁴C-Bestimmungen, ^δ¹⁸O-Analysen und Schwermetallanalysen sowie der Mineralbestimmungen sei auf die Darstellungen in (44), (131), (26), (161) und (99) verwiesen.

Die Pollenanalyse selbst erfolgte bei 400facher Vergrösserung an mit Fuchsinrot gefärbten Dauerpräparaten. Zur Bestimmung schwieriger Pollentypen benützte ich 1000fache Vergrösserung und Ölimmersion. Als Bestimmungshilfen dienten (29) und (16), die Lochkartenschlüssel des Systematisch-Geobotanischen Instituts (27), (116) und (100), die Fotokartei und die Rezentpollensammlung des Systematisch-Geobotanischen Instituts, sowie meine eigene, im Aufbau begriffene Rezentpollensammlung. Den Zählvorgang selbst erleichterte ein elektronisches Zählgerät mit 18 vierstelligen Zählern und 2 Summenzählern, das mir mein Bruder *N. Rösch* nach Entwürfen von Dr. *M. Küttel*, Hohenheim, anfertigte.

Zur Bestimmung fossiler Spaltöffnungen diente (138).

Für die Grossrestbestimmung wurden neben (15), (74), (8), (51), (52), (53), (49) und (129) die Samensammlung des Systematisch-Geobotanischen Instituts hinzugezogen.

3.3. Darstellung der Ergebnisse

Bei den Pollendiagrammen ist die Darstellung als Prozentdiagramm und als Influxdiagramm zu unterscheiden. Bei den Prozentdiagrammen (Nu 1 bis Nu 10) stellen die Kurven aller Sippen beziehungsweise Pollentypen Prozentwerte auf der Basis der Gesamtpollensumme dar. Dabei sind bei den schwarz gezeichneten Kurven im Diagrammteil links der Rubrik «Einzelfunde» die Farne und Wasserpflanzen aus dieser Summe ausgeschlossen. Die Werte der Farne und Wasserpflanzen selbst – in den Diagrammen als weisse Kurven rechts von den Einzelfunden dargestellt, wurden auf der Basis einer Gesamtsumme einschliesslich der Farne und Wasserpflanzen berechnet. *Corylus*, *Alnus* und die *Cyperaceae* sind in der Gesamtpollensumme enthalten. Diese Summe (ohne Farne und Wasserpflanzen) ist rechts in den Diagrammen angegeben. Dabei handelt es sich natürlich, wie auch bei den benachbarten Rubriken für die Anzahl der Nichtbaumpollentypen (Anzahl der unterschiedenen Kräuter- und Kulturgrasarten ohne Varia), Spaltöffnungen und Pollenkonzentration nicht um Prozentwerte, sondern um tatsächlich gezählte, beziehungsweise errechnete Werte. *Sphagnum* wird behandelt wie die Farne.

Der grundsätzliche Aufbau der einzelnen Diagramme ist jeweils gleich. Kleinere Unterschiede, zum Beispiel in der Darstellung des Eichenmischwaldes (EMW) oder des Haselanteils (Signaturkurve oder – bei Nu 1, 4 und 9 – schraffierte Fläche im Hauptdiagramm) ergaben sich aus darstellungstechnischen Gründen wegen inhaltlicher Unterschiede der Diagramme.

Von links nach rechts sind die Diagramme so gegliedert, dass auf einige allgemeine Angaben wie Tiefe (1 schwarzer oder weisser Massstabsabschnitt entspricht stets 10 cm), Stratigraphie, ^{14}C -Alter und Glühverlustkurve (nur Nu 4) das Nebendiagramm der Gehölze folgt. Dieses ist weiter unterteilt in die Gruppen EMW, Schatthölzer (inklusive *Picea*), Lichthölzer, Sträucher, Lianen/Epiphyten und Kulturzeiger. Unter Sträucher wurden solche Arten subsummiert, die keiner der übrigen Gruppen zugehören und in der Regel im Bestand nicht an der ersten Baumschicht beteiligt sind, wenngleich sie durchaus Höhen von 10 und mehr Metern erreichen können (zum Beispiel *Taxus*, *Buxus*).

Im Hauptdiagramm sind von links nach rechts die Anteile der Gehölze (Summe), Kräuter, Gräser und Sauergräser durch unterschiedliche Schraffuren und Helligkeitswerte voneinander abgehoben. Innerhalb der Gehölzsummenfläche sind die wichtigsten Gehölze als Signaturkurven eingetragen.

Rechts folgen auf das Hauptdiagramm die Schattenrisskurven der einzelnen Kräutertypen. Diese wurden in die Gruppen: Verschiedene, Nässezeiger, Lichtzeiger und Kulturzeiger eingeteilt. Innerhalb der Gruppe: Verschiedene sind links bis «Varia» solche Fälle vereinigt, bei denen die pollendiagnostisch erreichte systematische Rangstufe keine weiteren ökologischen Aussagen erlaubt; rechts davon folgen Typen, deren ökologische Aussage schwer zu umreissen ist. Es sind Arten und Artengruppen, die als mesophil anzusprechen sind – oft Waldpflanzen – und deren Hauptverbreitung – vertikal gesehen – in den mittleren Diagrammteilen liegt, wo sie bisweilen mit neolithischen Siedlungsperioden verknüpft zu sein scheinen. Die ökologische Charakterisierung der Arten lehnt sich an (69) an, wenngleich die pollendiagnostischen Möglichkeiten nicht ausreichen, um dessen Feindifferenzierung, vor allem was den Wasserfaktor betrifft, auszuschöpfen.

In den Pollenkonzentrationskurven (drittletzte Spalte) sind die Mengen der Pollenkörner (ohne Wasserpflanzenpollen und Sporen), die in jeweils 1 cm³ Sediment enthalten sind, dargestellt. Sie errechnen sich aus den gezählten Gesamtpollensummen (Spalte davor), den gezählten Mengen der Lycopodiumsporen (beziehungsweise Eucalyptuspollen bei Nu 7) und den Mengen der bei der Aufbereitung pro Volumeneinheit Sediment zugegebenen Lycopodiumsporen (Tablettenzahl $\times$ mittlere Sporenzahl/Tablette).

Kurven mit sehr stark schwankenden Werten erfahren entweder einen Massstabwechsel, der ausser durch Einzeichnung des neuen Massstabs durch Helligkeitswechsel hervorgehoben ist (stärker verkleinerte Fläche ist punktiert), oder es werden über der in

kleinem Massstab schwarz gezeichneten Kurve die zehnfach überhöhten Werte weiss dargestellt. Im rechten Diagrammteil, in dem die normalen Kurven bereits weiss sind, werden zehnfach überhöhte Werte mit gestrichelter Begrenzungslinie dargestellt, bei zehnfach verkleinerten ist die Fläche der Kurve punktiert.

Für die Zonierung der Diagramme kommen drei unterschiedliche Systeme zur Anwendung (in den beiden letzten Spalten):

1. Jedes Diagramm ist für sich in Diagrammabschnitte (DA) gegliedert, die auch als Pollen Assemblage Zones (PAZ) bezeichnet werden. Unter dieser Bezeichnung werden sie hier verwendet. Sie sind durch arabische Ziffern in der linken Spalte bezeichnet.
2. In derselben Spalte sind kleine Buchstaben, kombiniert mit jeweils einer arabischen Zahl, eingetragen. Sie bezeichnen ein Sukzessionsschema, das von mir aus der Gesamtschau aller 10 Diagramme entwickelt wurde und das die lückenlose Vegetationsentwicklung für den Raum der Nussbaumer Seen widerspiegelt. In der gleichen Spalte sind Hiaten durch dicke schwarze Striche zwischen den Diagrammabschnitten hervorgehoben. Die Abschnitte des Sukzessionsschemas werden als Lokale Pollenzonen (LPZ) bezeichnet.
3. Die Diagramme sind aufgrund pollenanalytischer Kriterien an die mitteleuropäische Grundsukzession (31) angeschlossen (regionale Biostratigraphie, römische Zif-

Tabelle 3: Bedeutung der Abkürzungen im Text

AC	= nach Christi Geburt, Zusatz bei Altersangaben, die sich auf die gebräuchliche Chronologie in Sonnenjahren mit Nullpunkt bei Christi Geburt beziehen
BG	= background (bei Schwermetallanalysen)
BP	= before present, Zusatz bei Altersangaben in Jahren, die sich auf die nicht kalibrierte ¹⁴ C-Chronologie mit Nullpunkt = 1950 AC beziehen
EMW	= Eichenmischwald, Pollensummenkurve von Eiche, Ulme, Linde, Esche und Ahorn
HK	= Holzkohle
LPZ	= Lokale Pollenzone(n), System zur vertikalen Gliederung der Pollendiagramme; die Hauptphasen haben folgende Bedeutung: - a = waldfreie Phasen - b = Zwergstrauchphasen - c = Wacholderphasen - d = Birkenphasen - e = Kieferphasen - f = Haselphasen - g = Eichenmischwaldphasen - h = Buchenphasen - k = Kulturphasen
LT	= Laacher Bimstuff
mKZ	= mit Kulturzeigern
mM	= mit Molluskenschalen
NBP	= Nichtbaumpollen
Nu	= Kurzbezeichnung für die Pollenprofile von den Nussbaumer Seen
PAZ	= pollen assemblage zone, System zur vertikalen Gliederung der Pollendiagramme
ppb	= Teile pro Billion = 1 / 1 000 000 000 000
ppm	= Teile pro Milliarde = 1 / 1 000 000 000
SRH	= Seerosenhaare
T	= Transsekt
-T.	= -Typ, Bezeichnung für Sammelgruppe pollendiagnostisch nicht näher bestimmbarer Arten
TGS	= Tongesteinsstandard (bei Schwermetallanalysen)
UG	= Untersuchungsgebiet

fern in der rechten Spalte). Hierzu wurden ausser dem genannten Werk an neueren und speziell den Bodenseeraum betreffenden Arbeiten (80), (84), (88), (11) und (102) zu Rate gezogen.

Mit Hilfe der ^{14}C -Daten und weiterer Altersbestimmungen (Kapitel 4.3.2) können diese biostratigraphischen Zonen dann in Chronozonen umgewandelt werden. Damit haben wir dann ein regionales Chronozonensystem. Die Realisierung strenger und über-regional gültiger Chronozonen (92), (93) ist zwar wünschenswert, aber gegenwärtig wohl noch nicht möglich.

Die Bedeutung der Signaturen in den Pollendiagrammen kann der Abbildung 4 entnommen werden.

In den Polleninfluxdiagrammen (Nu 1, 2 und 8) ist dargestellt, wieviel Pollenkörner pro Jahr auf 1 cm² Fläche abgelagert wurden, und dies wiederum gesondert dargestellt für die einzelnen Gehölzarten und bestimmte Krautpollentypen. Man erhält diese Werte, indem man die Pollenmenge pro 1 cm³ (vergleiche Prozentdiagramme, drittletzte Spalte) mit dem Prozentwert der betreffenden Art und mit der jeweiligen Sedimentationsrate, ausgedrückt in cm/Jahr, multipliziert. Der letztgenannte Wert lässt sich graphisch ermitteln, wenn man eine Serie von ^{14}C -Daten gegen die Tiefe aufträgt. Dies geschah hier mit den Daten von Nu 4 (Abbildung 12). Die übrigen Altersangaben sind durch den Fund des Laacher Bimstuffs und durch Verknüpfung der jüngeren Abschnitte mit der Kulturgeschichte gewonnen. Da sich die einzelnen Diagramme von

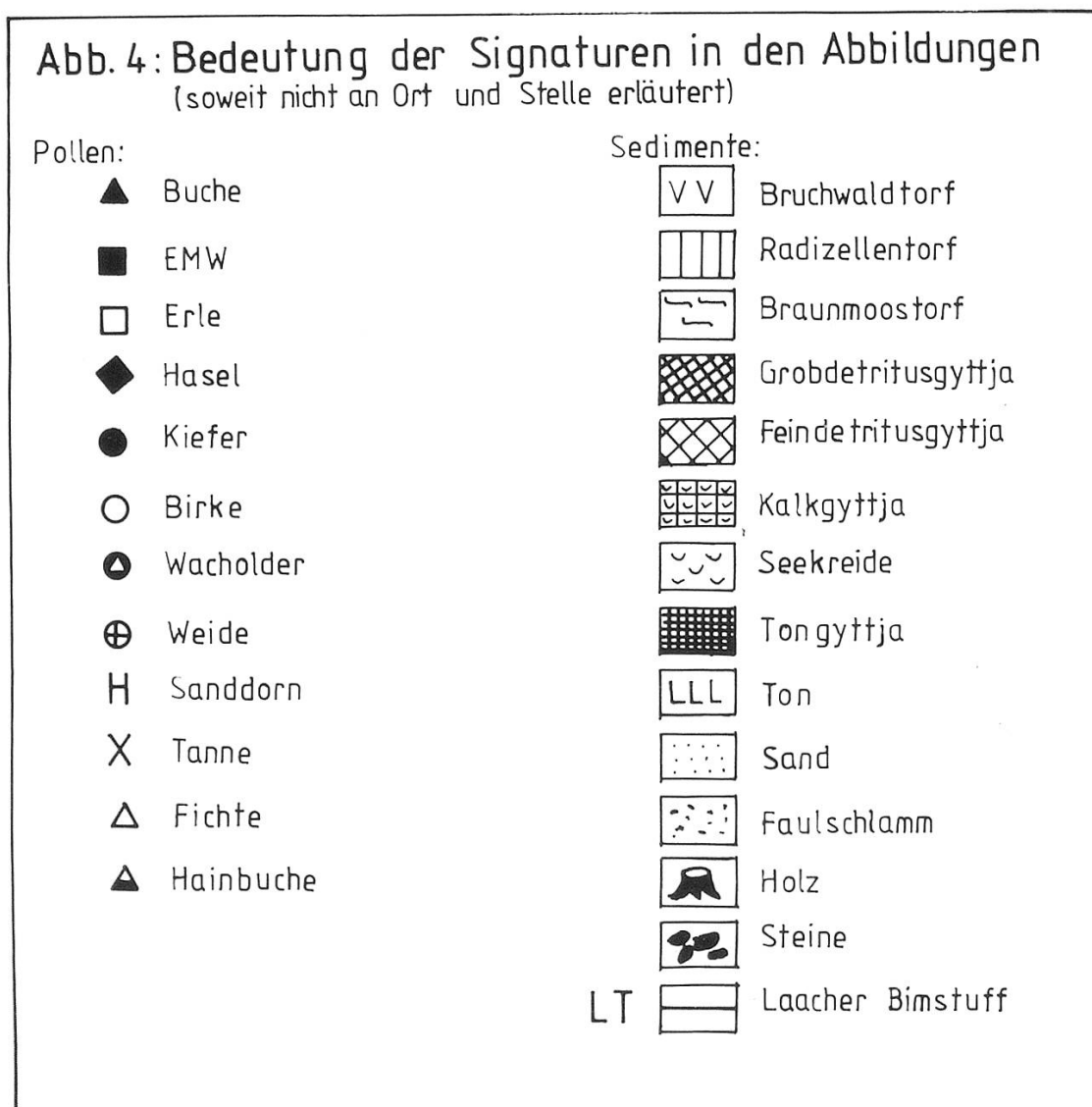


Abbildung 4: Die Bedeutung der Signaturen in den Pollendiagrammen.

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*, Cerealia 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

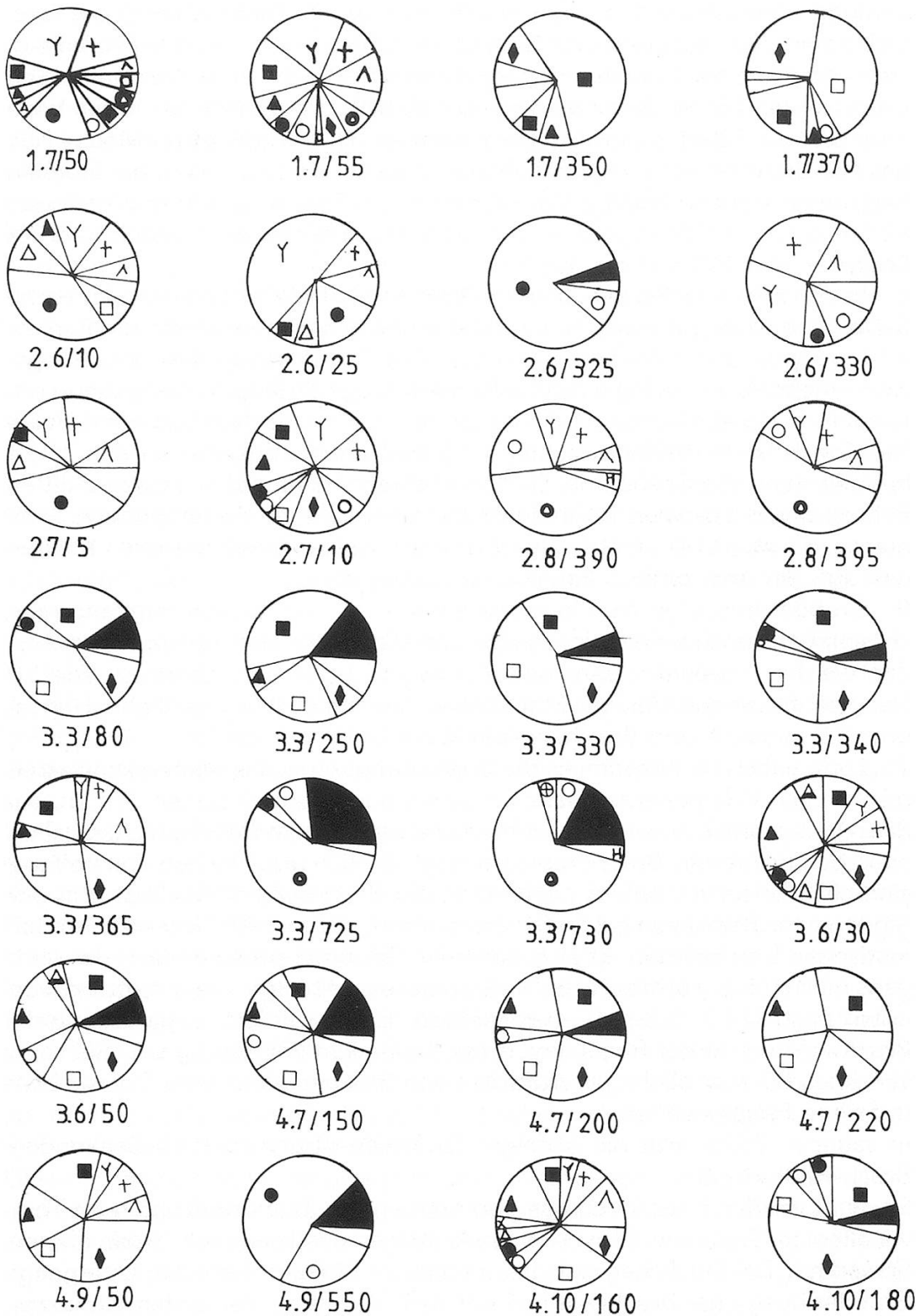


Abbildung 9a: Pollenkreisdiagramme zu den pollenanalytisch datierten Horizonten der Transsekte 1 bis 4.

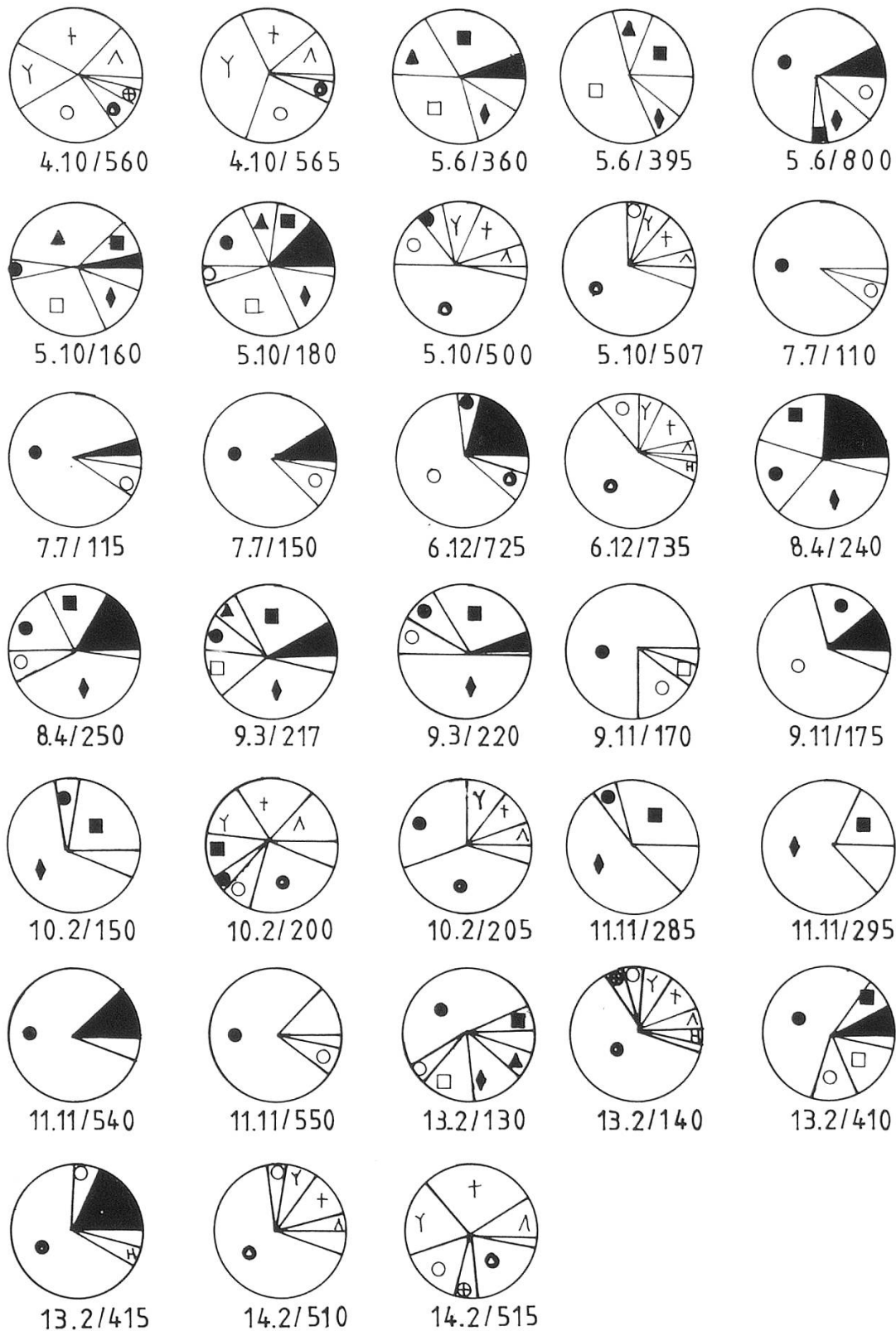


Abbildung 9b: Pollenkreisdiagramme zu den pollenanalytisch datierten Horizonten der Transsekte 4 bis 14.

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

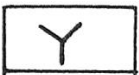
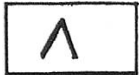
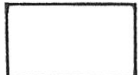
	Kräuter		Sauergräser		Summe der nicht eigens aufgeführten Baumpollen
	Gräser		NBP		



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 *Juniperus*-kurve auf fast 70%. *Cyperaceae* und vor allem Kräuter haben nur noch geringen Anteil. Viele lichtliebende Arten sind verschwunden. *Ephedra*-pollen wird selten. Bei nach wie vor recht grossem Weidenanteil liegt kurz nach dem *Juniperus*-gipfel 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 *Juniperus*-kurve 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 *Betula*-werten, steigender *Pinus*-kurve 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 (465–445): 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 (445–422): 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 (422–408): *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 (408–389,5): *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 (389,5–387,5): *Betula*-Phase

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

PAZ 9 (387,5–384,5): *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 (384,5–381,5): *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 Profitoberkante 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 Bruchwaldturf mit Reiseren und viel Holz von *Alnus glutinosa*
- 415— 565 schwarzer, sehr stark zersetzter Bruchwaldturf 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 <i>Juniperus</i> |
| PAZ 3 (751–748): | <i>Juniperus</i> -Phase |
| PAZ 4 (748–736): | <i>Betula</i> -Phase |
| PAZ 5 (736–732): | <i>Betula</i> -Phase mit <i>Pinus</i> und Lichtungszeigern |
| PAZ 6 (732–712): | <i>Pinus-Betula</i> -Phase |
| PAZ 7 (712–708): | <i>Pinus</i> -Phase |
| PAZ 8 (708–703): | <i>Pinus-Betula</i> -Phase |
| PAZ 9 (703–693): | <i>Pinus</i> -Phase |
| PAZ 10 (693–675): | <i>Pinus-Betula</i> -Phase mit <i>Populus</i> |

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 Gyttja
B 3888	Nu 2	419–424	12 720±160	tonige Gyttja
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	11 700–11 000 BP
II3 }	11 000–10 900 BP
II4 }	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
k2	VIII	4300- 3700	600	Corylus-Alnus-Phase mit Kulturzeigern	22	5 20	2	7	<u>11</u>	15 18
h2	VIII	3700- 3200	500	Fagus-Alnus-Phase m. wenig Kulturzeigern	23 (20)	21 (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		26	6-7 13		<u>18</u>	
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 vervielfacht 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-

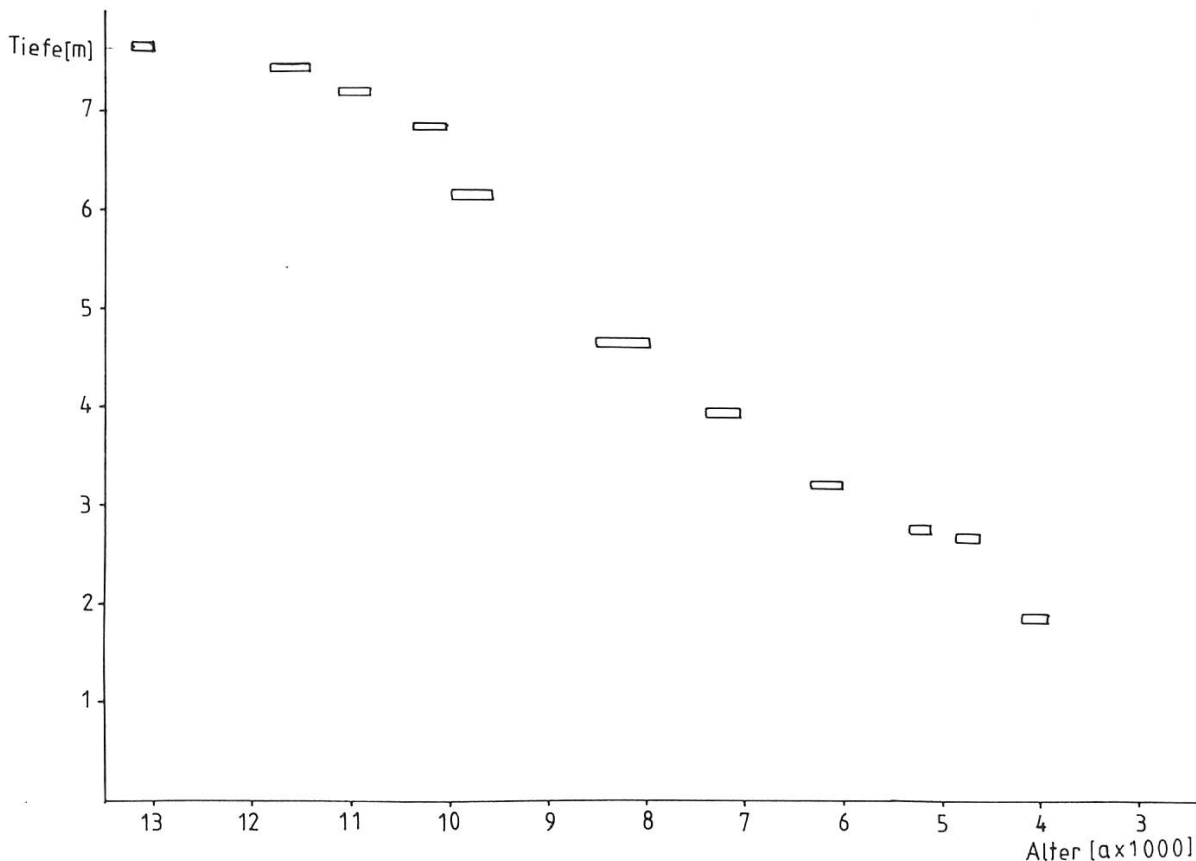


Abbildung 12: Die räumlich-zeitliche Lage der Radiocarbonaten von Nu 4.

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

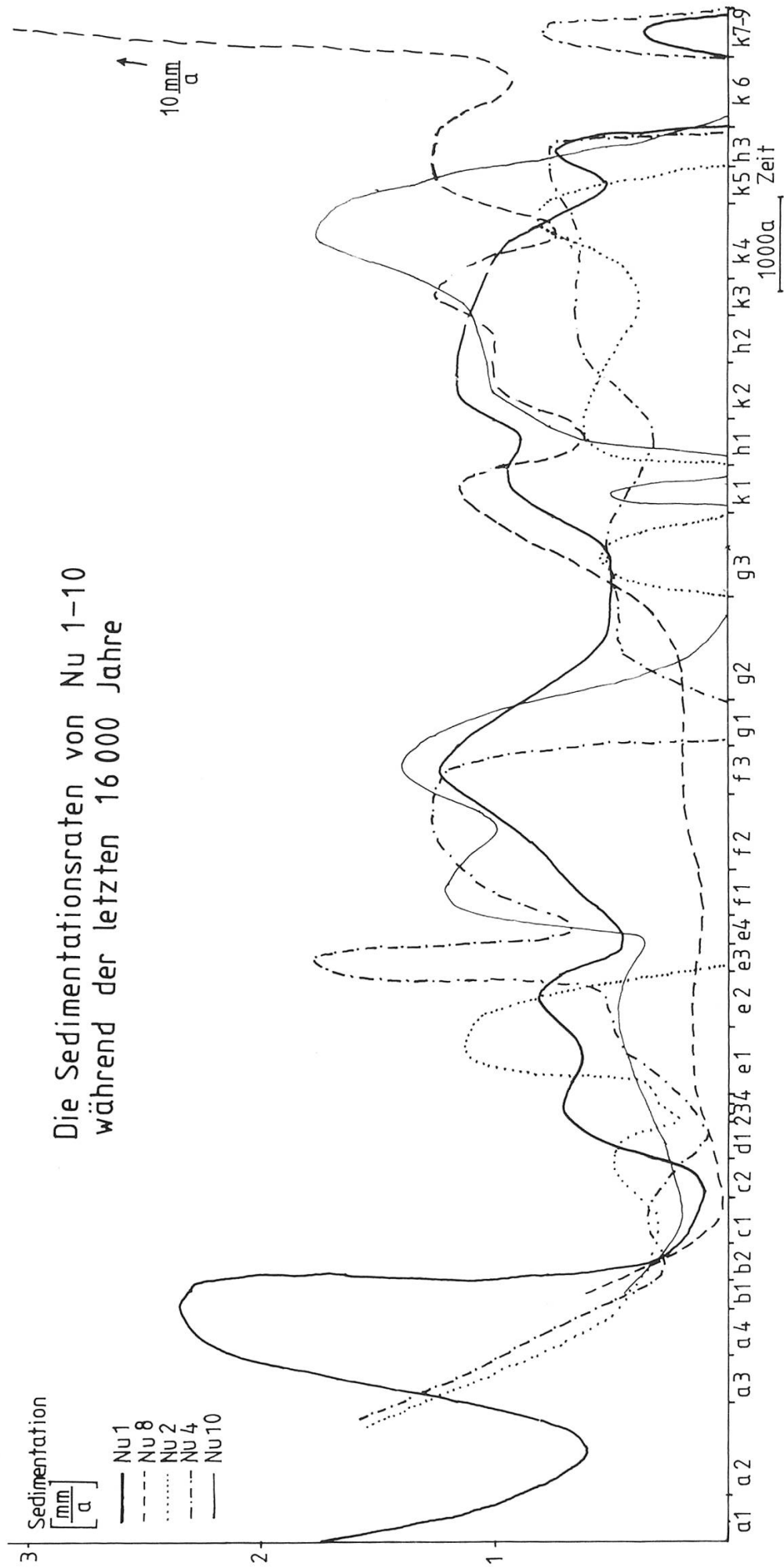
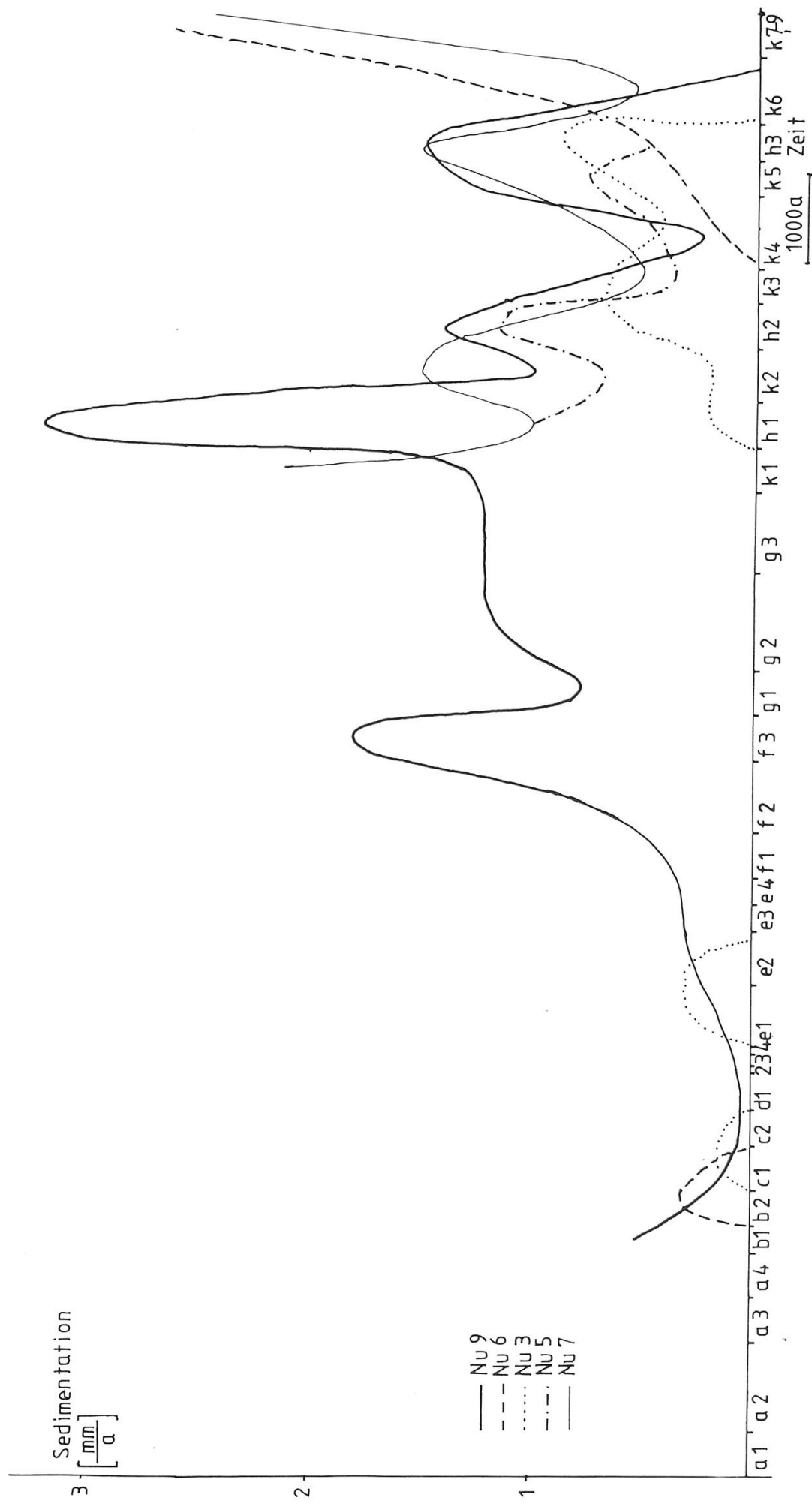


Abbildung 13a: Die zeitabhängige Änderung der Sedimentationsraten der Profile Nu 1, 2, 4, 8, 10.



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

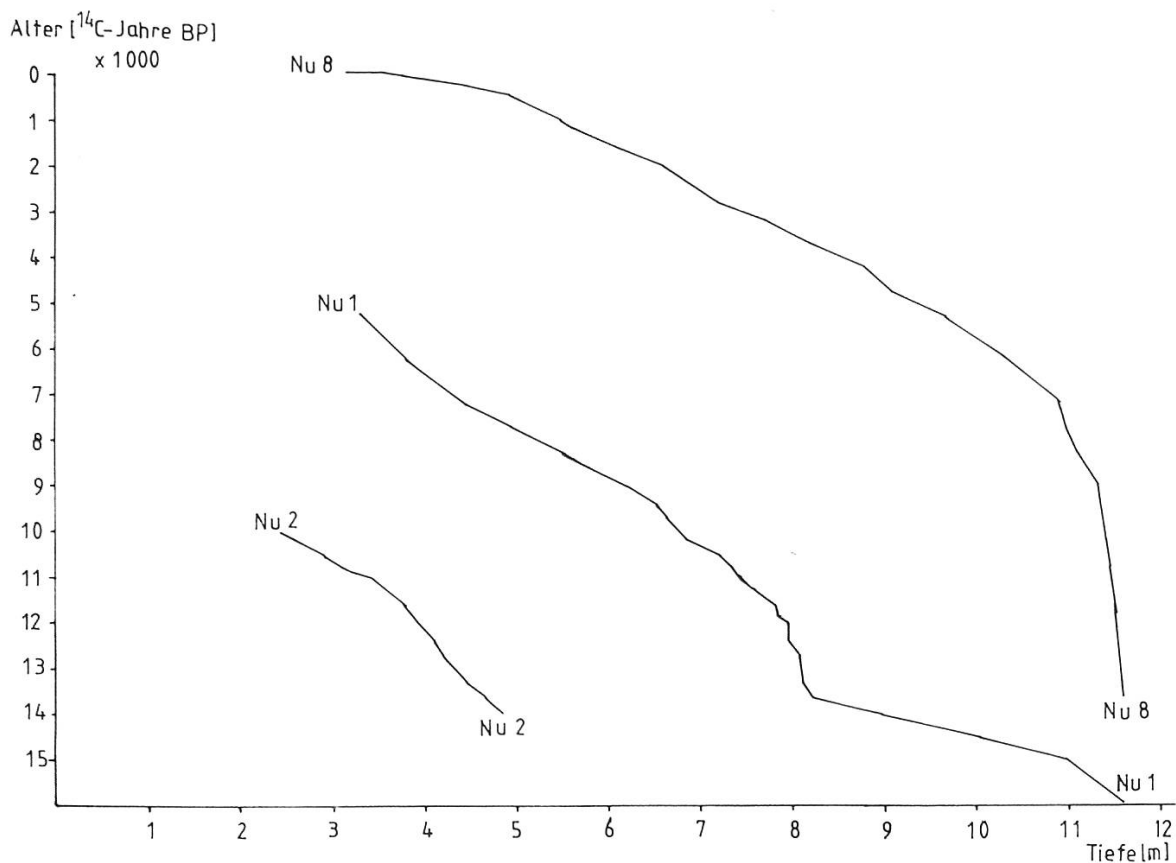


Abbildung 14: Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten der Profile Nu 1, 2 und 8.

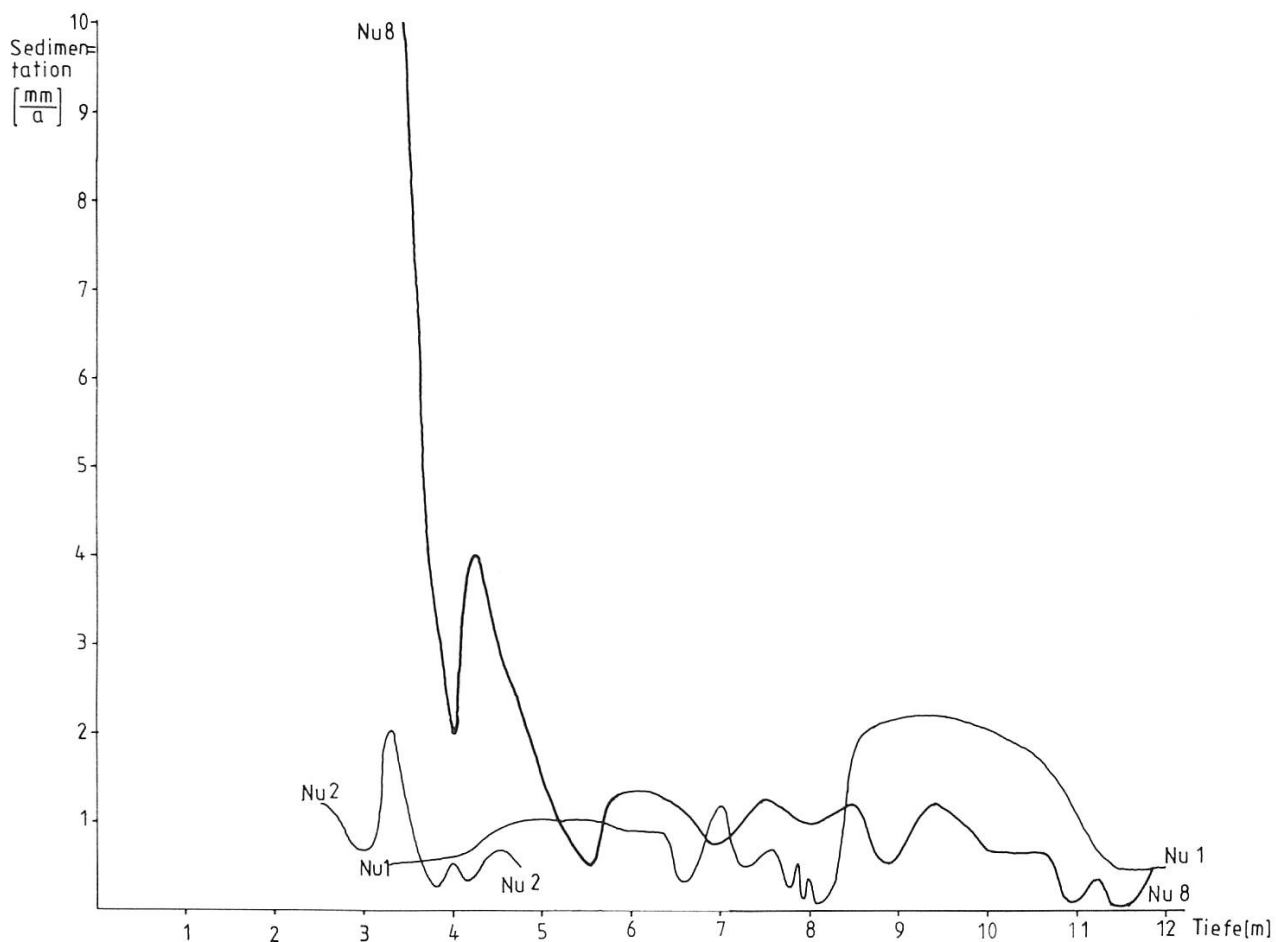


Abbildung 15: Sedimentationsraten der Profile Nu 1, 2 und 8 in Abhängigkeit von der Tiefe.

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 Höchsthöhen, 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 Antiklopfzusatz 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).

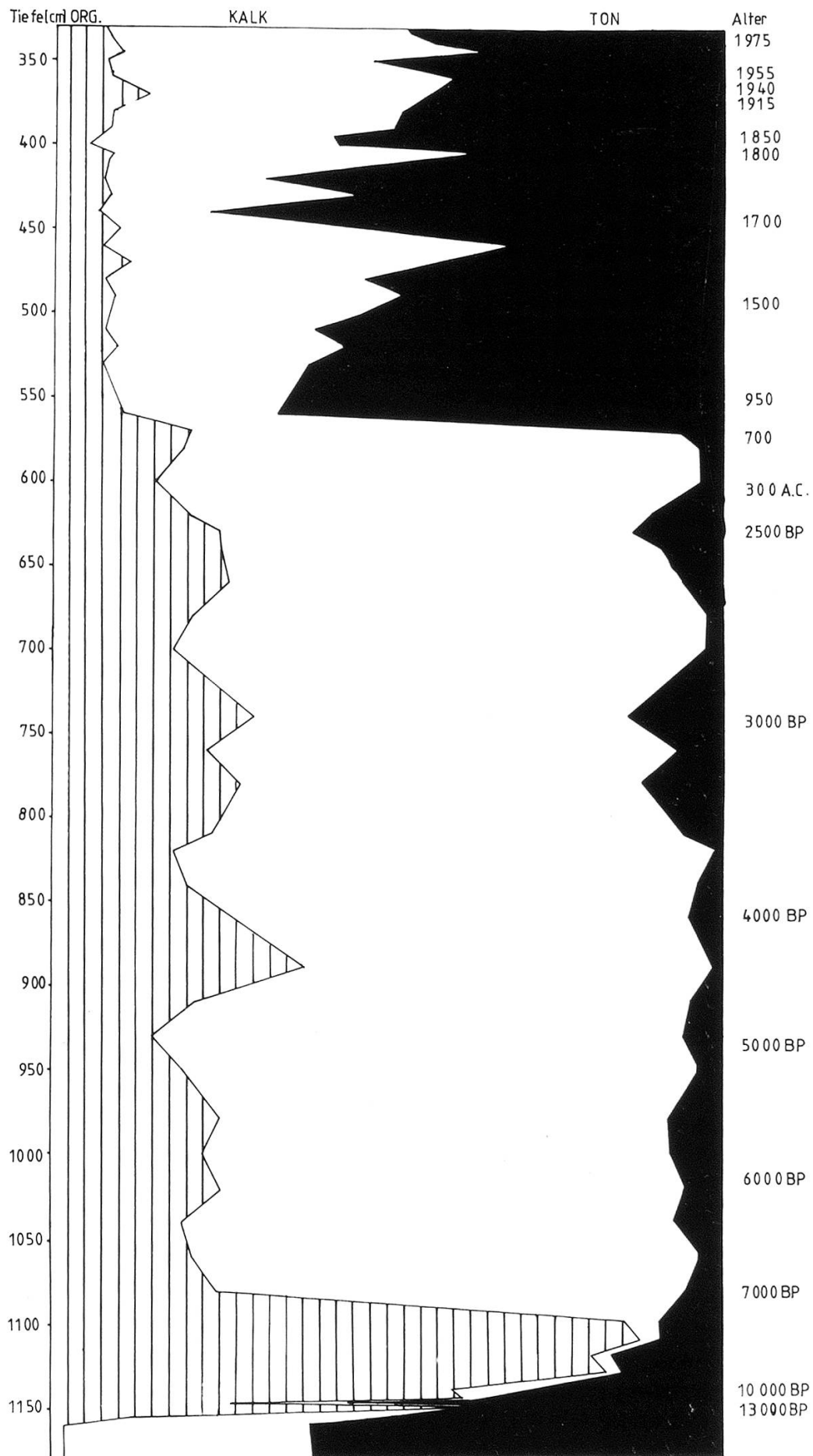


Abbildung 16: Glühverlust, Kalkgehalt und mineralischer Sedimentanteil (Ton) von Nu 8.

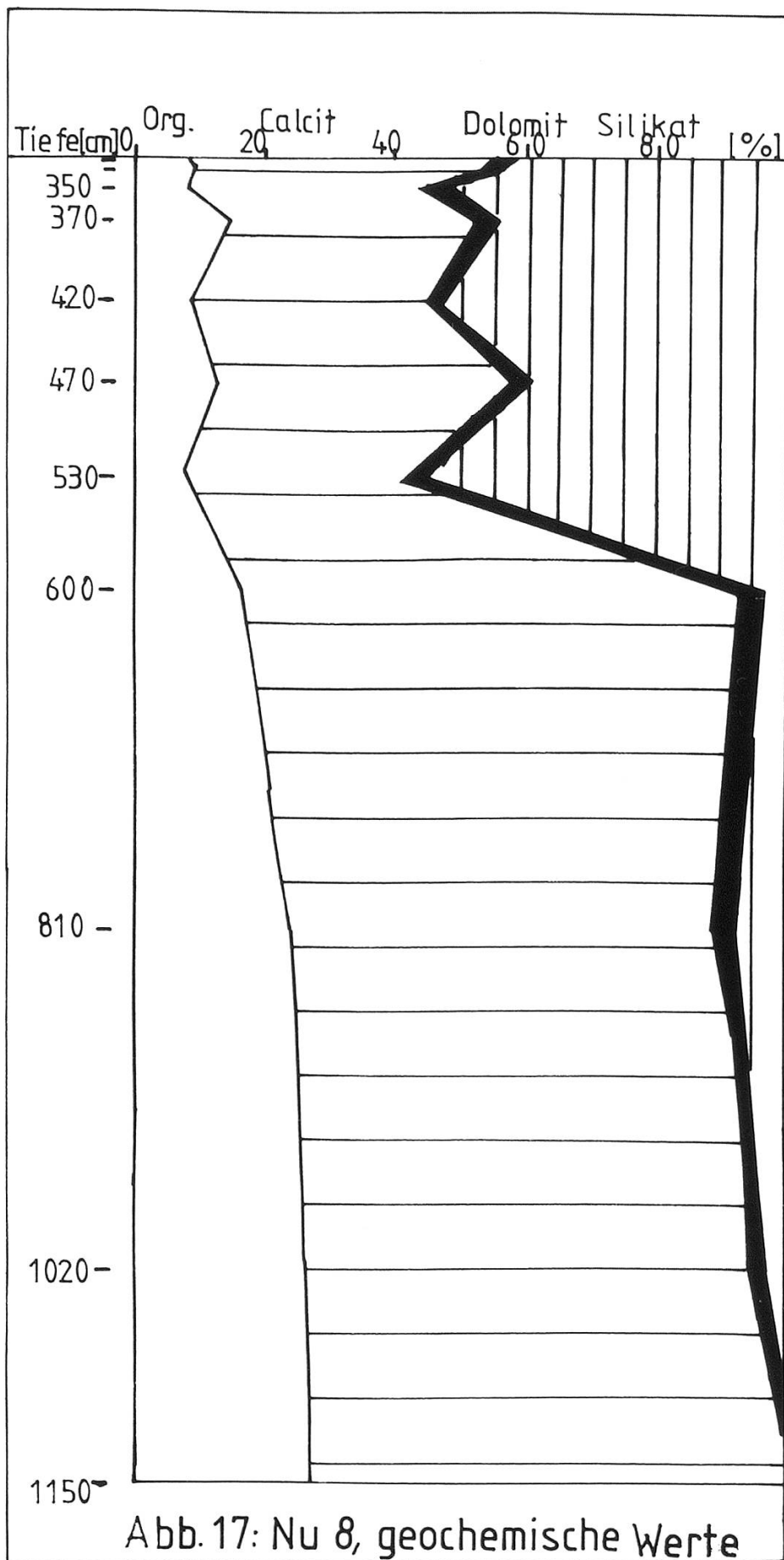


Abbildung 17: Gehalt an organischer Substanz, Calcit, Dolomit und Silikat von Sedimentproben aus Nu 8.

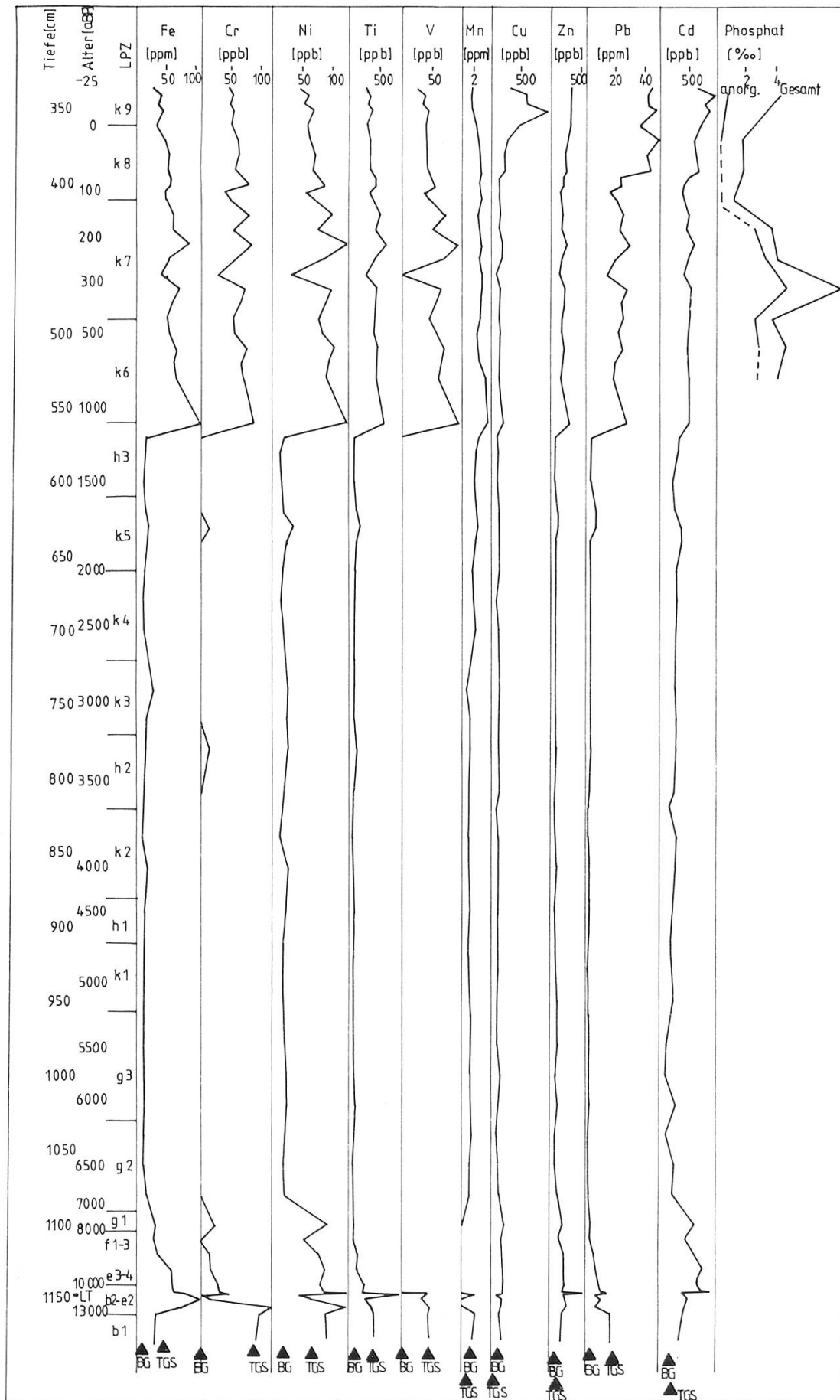


Abbildung 18: Schwermetallkonzentrationen und Phosphatgehalt im Sedi-
ment von Nu 8.

Als Hinweise auf Seespiegelanstieg können gelten:

1. Sedimentinversionen, i.e. Sedimente höheren Wasserstandes lagern über solchen tieferen Wasserstandes (zum Beispiel Seekreide über Torf oder Radzellentorf über Bruchwaldtorf).
2. Zunahme der Pflanzenreste von Arten limnischer Verbreitung oder mit höherem Feuchtigkeitsanspruch (nur bedingt gültig, kann im Zusammenhang mit Verlandungsvorgängen auch mit Seespiegelabsenkung verknüpft sein!).
3. Verlandungsfläche pro Zeit nimmt ab (bis 0 oder wird negativ).
4. Verstärktes Wachstum telmatischer Sedimente.

Als Indizien botanischen Ursprungs sind Grossreste Pollen vorzuziehen, da sie eine bessere Lokalisierung des Geschehens erlauben. Bei der Beurteilung von Hiaten kommt erschwerend hinzu, dass sie ausser Seespiegelschwankungen auch andere Ursachen haben können. Eine Übersicht über Mechanismen der Hiatusbildung gibt (2).

Im Bereich der Nussbaumer Seen konnte eine grosse Zahl von Hiaten nachgewiesen werden, die jedoch, soweit es sich um säkulare Sedimentlücken handelt, hauptsächlich auf subaquatische Rutschungen zurückzuführen sind. Dafür liegen folgende Hinweise vor:

1. Den Hiaten fehlt – chronologisch betrachtet, aber auch räumlich – ein gemeinsamer Anfang und ein gemeinsames Ende.
2. Sie finden sich alle in litoralen oder benthalen Steillagen.
3. Bei den fehlenden Sedimenten handelt es sich vermutlich um die rutschungsanfälligsten (Seekreide). Die zäheren Tone, Tongyttjen und Torfe sind erhalten.
4. Sie liegen teilweise so tief (Nu 6: gut 6,5 m unter der Wasseroberfläche), dass Seespiegelabsenkungen solchen Ausmasses im Widerspruch zu allen übrigen Befunden stehen würden.
5. Am nördlichen Steilufer des Hüttwiler Sees hat Nu 2 einen Hiatus von IV bis VII, westlich davon hat Nu 10 bei verminderter Reliefenergie teilweise schräge Schichtgrenzen in der Seekreide und 2 kleinere Hiaten (VI/VII und VII/VIII). Die westlich gelegenen Profile in Bereichen geringer Reliefenergie sind frei von solchen Erscheinungen.

Dass Seespiegelschwankungen als Nebenursache bei der Entstehung solcher Hiaten mitgewirkt haben (vergleiche Hiaten und Wasserstände bei Nu 10 und T 13.2!), ist nicht auszuschliessen, bei Nu 2 und besonders bei Nu 3, wo die Reliefenergie als Hauptursache entfällt, sogar wahrscheinlich (vergleiche Abbildungen 4 bis 10 und 19!). Eine widerspruchsfreie Rekonstruktion der erforderlichen Seespiegelstände und der Sedimentations- und Erosionsmechanismen, die alle Hiaten erklärt, ist schwierig.

Die Seespiegelhöhe des Eisstausees dürfte, wie *E. Müller* (101) aus der Höhe der Abflussschwelle im Westen schloss, aufgrund des bei Kote 440,8 m anstehenden Seetons (Kapitel 4.1.) bei 441 m gelegen haben. Dieser See hatte eine grosse Insel (Hälfenberg–Buechbüel–Leber) und bedeckte mit fast 200 ha nahezu das Dreifache der heutigen Fläche. Während die Vegetation der Umgebung noch spärlich war, wuchsen im Wasser trotz der sicherlich noch vorhandenen Gletschertrübe bereits Laichkräuter (Kaltwasserarten, *Potamogeton alpinus* und andere). Mit dem Zurückweichen des Thurgletschers vom Stand von Frauenfeld wurde der tieferliegende Abfluss nach Südosten ins Thurtal frei, und der Seespiegel sank rasch um 5 m ab. Dabei fielen die ausgedehnten Flachwasserbereiche trocken, die Laichkrautstandorte wurden vernichtet, und der See zerfiel in 4 Teilbecken: Nussbaumer-

Hüttwiler See, Hasensee sowie die Weiher von «Bürgerried» und «Weiher». Dies dürfte in Phase a4 von Ia (Kapitel 4.3.), also vor rund 14500 Jahren geschehen sein. Die Wasserfläche war auf die Hälfte geschrumpft und nur noch etwa $\frac{1}{3}$ grösser als heute.

Am Grunde der grossen Becken entspringen kalkhaltige Quellen, da dicht unter der Grundmoräne Vorstossschotter liegen (101). Auffällig ist der hohe Dolomitgehalt des Seewassers (137). Die kleinen Teilbecken Bürgerried und Weiher wurden dagegen von mineralarmem Wasser (Niederschläge und oberflächliche Zuflüsse aus der Umgebung) gespeist. Deshalb verlief die Verlandung dort völlig anders: Über vollkommen kalkfreien Gytjen lagern Cyperaceentorfe, teilweise mit oligotrophen Zügen.

Kurz nach der Wiederbewaldung, am Ende der Juniperusphase, ging die mineralische Einschwemmung zurück, und die organogene Sedimentation setzte ein. Da diese noch schwach war, waren die Sedimentationsraten in Ib sehr gering. Viel höher waren sie in Ia gewesen, wie die mehr als 20 m Seetone, die das Ostende des Hüttwiler Beckens ausfüllen, beweisen.

Der See wurde in Ia (b1–2) stark von Laichkräutern besiedelt. Diese wurden in Ib (c1–d3) spärlich und verschwanden in II (e1). Dafür könnten klimatische Gründe verantwortlich sein (Wassererwärmung). Das allmähliche Auslaufen der Kurve spricht gegen Biotopvernichtung durch Wasserspiegelveränderung.

Nach Ia findet noch grossflächige Verlandung statt in den Flachwasserpartien zwischen Nussbaumer und Hüttwiler See, im Buecher Ried südlich des Hüttwiler Sees und im Moos nordwestlich des Nussbaumer Sees. Hinzu kommen kleinere Verlandungsflächen (vergleiche Abbildung 11). Die Wassertiefe betrug in diesen Gebieten seit dem Ende von Ia maximal 8 bis 12 m, durchschnittlich aber weniger als 5 m, wogegen sie in den heute noch bestehenden Seebecken zwischen 5 m (Steilufer) und mehr als 20 m, durchschnittlich aber bei 12 bis 15 m lag. An solch tiefen Stellen konnte nur dann die Verlandung abgeschlossen werden, wenn die autochthone Sedimentation durch Schwemmkegelbildung im Mündungsbereich von Zuflüssen unterstützt wurde. So war der Damm zwischen den Hasenseebecken nach der Karte von *Weech* (1743) damals noch eine von Süden in den Hasensee vorstossende Landzunge. Um Schwemmkegel dürfte es sich auch bei den Landungen südlich des Sandbuck und eventuell Horn handeln (vergleiche Karten von *Gyger* (1667) und *Sulzberger* (1838). Normalerweise beanspruchen Verlandungsvorgänge aber wesentlich längere Zeiten, als *Walser* (147) glaubt, der aus einer vermutlichen Ungenauigkeit der Karte von *Gyger* (1667) schliesst, der Hüttwiler See sei während zweier Jahrhunderte um fast 500 m kürzer geworden. Dem widersprechen die Sondierungsbefunde (T 8).

Im Spätglazial hatte der mineralische Eintrag und damit die Aufhöhung während der regressiven Phasen Ic und III noch einmal zugenommen. Die limnischen Sedimente enthalten bis Ende IV einen beträchtlichen mineralischen Anteil. Insgesamt fielen aber im Spätglazial nach Ia und im frühen Postglazial nur kleine Flächen trocken, da offenbar die Flachwasserzonen begrenzt waren und erst durch Abnahme der Wassertiefe in mitteltiefen Bereichen neu entstanden. In den tiefen, zentralen Beckenteilen blieb die Grundaufhöhung in den ersten 3000 Jahren des Postglazials sehr gering (nachträgliche Sedimentkompression nicht berücksichtigt). Rasche Verlandung s.l. mit Seekreidebildung erfolgte stets irisblendenartig an den flacheren Seerändern. Die Mechanismen der Seeverlandung wurden ausführlich von (154) disku-

tiert. Mächtige Seekreidelager wurden bereits in II gebildet. Die starke Zunahme der Gytja- bzw. Kalkgytjaablagerung in den Zentren setzte zu Zeiten tiefer Wasserstände ein (siehe weiter unten).

Verlandung s.str. im Spät- und Frühpostglazial konnte am Nord- und Südufer des Hüttwiler Sees, nordöstlich des Hasensees und südlich des grossen Stichweihers nachgewiesen werden (Nu 2, Nu 3; T 6.5, 7.7, 7.8, 8.5, 8.15, 8.16, 9.11, 10.2, 11.1 – Abbildung 5 bis 8).

Im frühen Postglazial (IV+V) wanderten die wärmeliebenden Wasserpflanzen ein (vergleiche Pollendiagramme und Florenliste), waren jedoch noch nicht häufig.

Da nirgends organisch-limnische Sedimente über dem heutigen Wasserspiegel gefunden werden konnten, dürfte – schliesst man die nachträgliche Erosion sämtlicher dieser Sedimente aus – der Seespiegel spätestens seit Ib nie wesentlich über 436 m, also über dem Niveau vor der Absenkung von 1945, gelegen haben.

Bevor die postglazialen Seespiegelhöhen und der weitere Verlauf der Verlandung behandelt wird, soll die Geschichte der Seevegetation abgeschlossen werden: Nach V können keine Neuzugänge der Wasserflora, sondern lediglich Abgänge verzeichnet werden. In VII verschwinden *Najas marina* und *Trapa natans*. Davon abgesehen, bleibt die Seeflora und vor allem die der umgebenden Feuchtgebiete sehr reichhaltig. Dies belegen noch die Pflanzenlisten in (137). Verglichen mit der heutigen Artenarmut, waren die Nussbaumer Seen damals ein Paradies für Wasser- und Feuchtpflanzen.

Für die Rekonstruktion der Wasserstände wurde die Vegetationsgeschichte nur ergänzend herangezogen, da hierbei die Gefahr falscher Schlüsse gross ist. Die Aussagen stützen sich hauptsächlich auf die etwa 40 pollenanalytisch datierten Profile, denen sich Zeitpunkt und Tiefe der Verlandung s.str. entnehmen lässt. Dazu seien folgende Überlegungen vorangestellt: Als Nullhöhe wird der rezente Seespiegel von 434 m über Meer angenommen. Der Stand des frühen Ia mit 441 m (= +7) wurde bereits diskutiert. Für Gytja- oder Seekreideablagerung wird von einer Mindestwassertiefe von 2 m zum Zeitpunkt der Ablagerung ausgegangen, für Grobdetritusgytja von 0 bis 2 m Tiefe, für Bruchwaldtorf-Ablagerung von $0 \pm 0,5$ m, für Radizellen-/Schilftorf von 0 bis 1 m Tiefe. Für Hiaten, die nicht als Rutschungen zu deuten sind, wird ein Wasserstand in Höhe des Hiatus während seiner Dauer angenommen. Im übrigen wird nach möglichst einfachen Erklärungen gesucht, das heisst, Zahl und Ausmass der Schwankungen wird so gering gehalten, wie es die Befunde zulassen. Kurzfristige Schwankungen bleiben mangels Erfassbarkeit unberücksichtigt. (137) gibt jahreszeitliche Schwankungen bis 80 cm an; ich selbst konnte eine Differenz von 40 cm zwischen dem Tiefstand von Sommer 1981 und dem Hochstand von Frühjahr 1982 beobachten.

Weitere Hinweise auf Seespiegelschwankungen geben die Häufigkeiten, mit denen in bestimmten Zeitabschnitten Verlandungen oder Sedimentinversionen (als Folgen von Transgressionen) auftreten beziehungsweise nachgewiesen werden, sowie die Wachstumsraten von Torfen. Als botanische Hinweise seien gehäuftes Auftreten von Wasserpflanzen und Nässezeigern genannt sowie das Auftreten von Cyperaceen- und/oder Gramineengipfeln (Verlandung) und Polypodiaceengipfeln (zeitweiliges Austrocknen telmatischer Sedimente).

Zur flächenhaften Verlandung ist nachzutragen, dass die Verbindung zwi-

schen Nussbaumer und Hüttwiler See nur aus einer maximal 100 m breiten, flachen Rinne entlang des Seebachs (hauptsächlich nördlich davon) bestand, die vermutlich bereits in IV/V nahe des Nussbaumer Sees trockenfiel. Es blieb der lange Schlauch des Hüttwiler Sees, der entlang des heutigen Seebachs bis auf 200 m an die Strasse Nussbaumen - Uerschhausen herankam. (Nördlich des Seebachs reichte er noch weiter nach Westen.) Dieser relativ seichte Seeteil war im Bereich des heutigen Stichweihers und nördlich davon am tiefsten. Östlich davon hatte er eine Schwelle, hinter der dann der Grund steil ins heute noch bestehende Seebecken abfiel. Der beschriebene Schlauch schrumpfte sukzessiv auf seine heutigen Ausmasse zusammen, das heisst er verlandete von West nach Ost (zum Beispiel beginnt am Westende des Stichweihers die Bruchwaldtorfbildung in VII (g3), auf halber Höhe des Stichweihers an der Wende VII/VIII). Im Buecher Ried wurde ebenfalls auf weiten Flächen zwischen V und VII das Bruchwaldtorfstadium erreicht. Im Bürgerried wurde seit Anfang VII statt Grobdetritusgyttja Radzellentorf abgelagert. Dort nimmt der Pollen der Gräser und Sauergräser erst zu, als bereits 2 m Radzellentorf abgelagert sind. Diese Besonderheit könnte unter Umständen darin begründet sein, dass die Verlandung dort über ein Schwingrasenstadium verlief.

Bei der Untersuchung der Häufigkeit bestimmter Verlandungszeiten wurde la nicht berücksichtigt. Als Verlandung s.str. wird der Übergang von limnischem zu telmatischem Sediment aufgefasst. Dies wurde 4mal für III gefunden, 3mal für V, 2mal für VIb, 8mal für VII, 4mal für VIII und 3mal für Xb.

Sedimentinversionen von Bruchwaldtorf nach Radzellentorf sind an den Nussbaumer Seen die Regel, von Torf nach Seekreide nicht selten (vergleiche 48). Sie wurden 2mal in VII gefunden, 1mal in VIII (Ende), 7mal in IX (darunter alle Fälle von Seekreide über Torf) und 2mal in Xa (vermutlich inklusive IX). Dabei bezieht sich die Altersangabe jeweils auf das hangende, inverse Sediment. Pollen und Grossreste von Nässezeigern und Wasserpflanzen treten gehäuft auf in VII und ab Ende VIII, in IX und Xa, vermindert in VIII und Xb. Gräser-/ Sauergräsergipfel kommen vor allem in VIII, selten in VII, VIb und IX vor, Polypodiaceengipfel ebenfalls vorwiegend in VIII bis Anfang IX, weniger in VII.

Weitere Hinweise geben die Wachstumsverhältnisse bei telmatischen und terrestrischen Profilen, da eine Verknüpfung von hohen Wasserständen mit vermehrtem Torfwachstum und umgekehrt zu erwarten ist. Kapitel 4.3. kann folgende Übersicht entnommen werden (+ = starkes Torfwachstum, ± = mittleres Torfwachstum – = geringes Torfwachstum oder Wachstumsstillstand, (±) und (±) = Zwischenstufen):

VII			VIII				IX			X		
g2	g3	k1	h1	k2	h2	k3	k4	k5	h3	k6	k7–9	
±	(±)	–	+	±	(±)	+	(±)	+	(±)	+	–	+

Die bisherigen Befunde sprechen für hohen Wasserstand in IX und Xa sowie für tiefen, aber wechselhaften Wasserstand in VII und VIII. Relativ niedrig scheint er auch in III und V gewesen zu sein. Die sedimentstratigraphische Auswertung bestätigt diese Ergebnisse und präzisiert sie noch. Dabei stimmen die Befunde der einzelnen Profile im Rahmen der möglichen Genauigkeit (± 0,5 m) gut überein; lediglich Nu 9 widerspricht den übrigen Resultaten, indem dort eine Grobdetritusgyttja aus VII 5,5 m unter der heutigen Wasseroberfläche, ein Bruchwaldtorf von Anfang VIII 3,5 m unter der WOF beginnt. Die Annahme solch tiefer ehemaliger Wassestände scheidet aus, und eine andere Erklärung wurde bislang nicht gefunden (eventuell umgela-

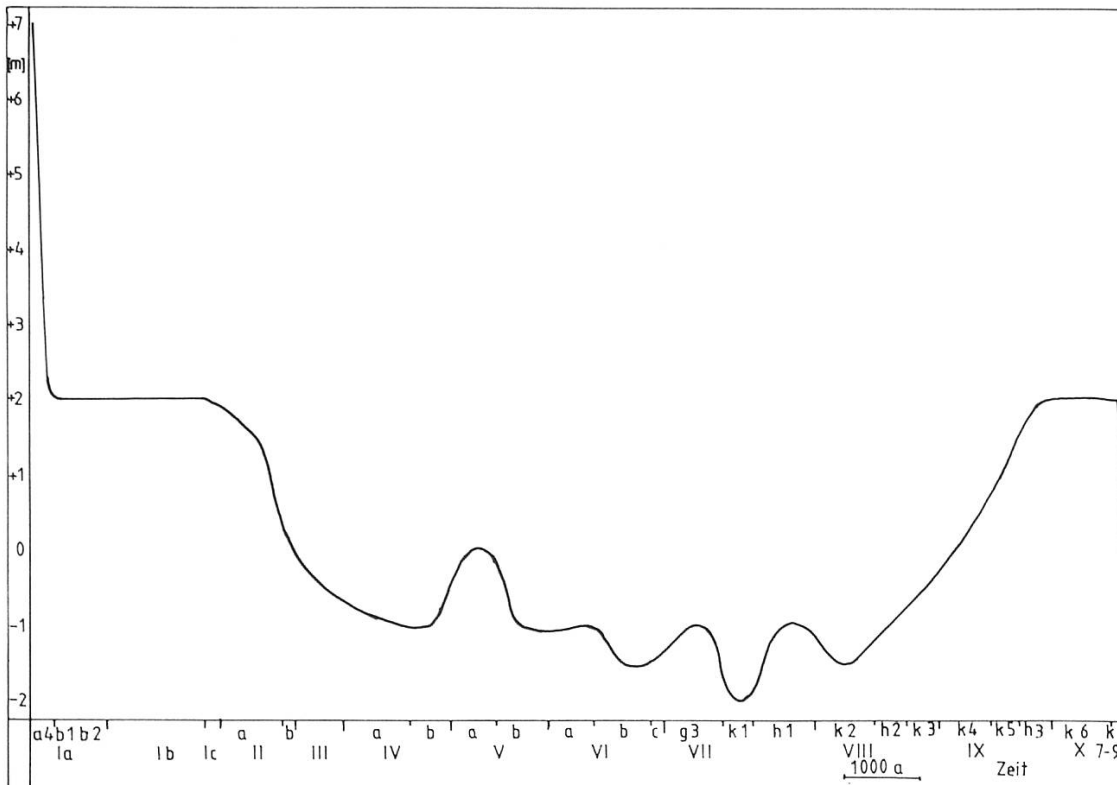


Abbildung 19: Spiegelschwankungen der Nussbaumer Seen während der letzten 16 000 Jahre.

gertes Material). Die Mächtigkeit der in VII abgelagerten Grobdetritusgyttja spricht jedenfalls für langsam steigenden Seespiegel in dieser Zeit (k1 bis h1).

Man kann nun für die einzelnen Abschnitte mit folgenden mittleren Wasserständen rechnen (vergleiche Abbildung 19):

la bis a4: +7, la b1 bis lc: +2, IIa: +1,5, IIb (nach Ablagerung des Laacher Bims-
tuffs): ± 0 , III bis IVa: $-0,5$, IVb: -1 , Va: ± 0 , VIa: -1 , VIb: $-1,5$, VII(g3): -1 , VII
(k1): -2 , VIII(h1): -1 , VIII(k2): $-1,5$, VIII(h2): -1 , VIII(k3): $-0,5$, IX(k4): ± 0 ,
IX(k5): $+1$, IX(h3): $+2$, Xa: $+2$, Xb bis 1945: $+2$, danach: ± 0 ;

Die Verknüpfung der beschriebenen hydrologischen Veränderungen mit dem grossräumigen Geschehen, mit der Klima- und Kulturgeschichte wird in den Kapiteln 5.3. und 5.4. versucht. Insbesondere soll der menschliche Eingriff in den natürlichen Verlandungsprozess mittels Wasserspiegelsenkung, Eutrophierung und Schaffung spätglazialer Sedimentationsverhältnisse Thema des Kapitels 5.4 sein.

5.2. Vegetationsentwicklung zwischen Rhein und Thur im Bereich des einstigen Seebachlappens

Nach dem Abschmelzen des Eises, was dem Beginn von Ia gleichzusetzen ist, war das Gebiet mit Sicherheit nicht nur frei von Bäumen, sondern frei von Pflanzen überhaupt. Die spärlichen Pollenfunde aus dieser Zeit (a1) sind aus eisfrei gebliebenen oder bereits früher eisfrei gewordenen und spärlich bewachsenen Gegenden im Westen und Norden angeweht worden. Vermutlich dürften dort auch Kiefern, Birken, Wacholder, Sanddorn und Weiden in Einzelexemplaren oder kleinen Gruppen an geschützten Stellen die Eiszeit über-

dauert haben, doch liegen Beweise dafür bisher nicht vor. Bei dem in Ia abgelagerten Thermophilenpollen dagegen handelt es sich gewiss um aufgearbeitetes älteres Material. Für einen wärmeren Praebølling-Komplex (153), (22) lassen sich keine Anhaltspunkte finden.

Die freigewordenen Rohböden wurden hauptsächlich von Kräutern besiedelt. Mit *Artemisia*, *Helianthemum*, *Chenopodiaceae*, *Rumex*, *Caryophyllaceae*, daneben *Rubiaceae*, *Apiaceae*, *Filipendula*, *Plantago alpina* und *P. major/media*-Typ, *Brassicaceae*, *Saxifraga* und den Farnen *Botrychium* und *Selaginella selaginoides* haben wir Sippen vor uns, deren Hauptverbreitung heute in den osteuropäischen Steppen einerseits, andererseits in der arktischen und alpinen Region liegt (80). Der Trockencharakter der Vegetation ist neben den klimatischen Gegebenheiten (35) sicherlich auf die geringe Wasserkapazität der Rohböden zurückzuführen. Man kann in erster Linie mit 3 Substrattypen rechnen: 1. Moränenböden (vor allem Grundmoräne) 2. Schotterflächen (vor allem im Westen des Gebiets) 3. Sand- und Tonböden (eben, ehemals wasserbedeckt);

Der Bewuchs wurde dann dichter und kräftiger (a2 bis a3) bis zur Ausbildung von Rasengesellschaften (a3 bis a4), die sich durch Beteiligung hochwüchsiger Stauden mit grösserem Anspruch an Nährstoffversorgung und Feuchtigkeit auszeichneten (*Ranunculaceae*, *Rosaceae*, *Campanulaceae*, *Caltha*-Typ, *Sanguisorba officinalis*, *Aconitum*-Typ, *Thalictrum*, *Trollius* und andere). In den Seen wuchsen bereits Laichkräuter (*Potamogeton alpinus* und verwandte Arten). Ihre Standorte wurden aber bei der nun folgenden Wasserspiegelabsenkung weitgehend vernichtet. Cyperaceen und Feuchtezeiger besiedelten die trockengefallenen Rohböden.

Dann (b1) breiteten sich in den Rasen niederwüchsige Sträucher aus (Zwergbirken, Meerträubel- und Weidenarten). Der See wurde erneut von Laichkräutern besiedelt.

Nach diesen Befunden scheint es also, als habe die Wiederbesiedlung bereits das Stadium geschlossener Rasen und Hochstaudenfluren erreicht gehabt, als der Gletscher noch wenige km südlich im Thurtal stirnte, und sei bereits bald nach dem Stand von Frauenfeld in die Zwergstrauchphase eingetreten.

Die Zwergsträucher, vor allem die Zwergbirke, breiteten sich aus und drängten an den tiefgründigen Standorten die Hochstauden allmählich zurück (b1). In diese Hochstauden-Zwergstrauch-Gesellschaften wanderten Wacholder und Sanddorn ein (b2), breiteten sich aus und schufen dadurch einen neuen Vegetationstyp (c1), den wir rein physiognomisch, nicht von der Artenkombination und den Standortsfaktoren her, vielleicht mit den Wacholderheiden der Schwäbischen Alb und den Sanddorn-Buschsteppen der südlichen Oberrheinebene vergleichen können. Damit beginnt die Zone Ib. Von *Iversen* (70) erstmals beschrieben und als Bølling-Interstadial bezeichnet, wurde sie im Bodenseegebiet bereits von *Lang* (80) und *H. Müller* (102) – damals kannte man den Pollen von *Juniperus* noch nicht – sowie von *A. Bertsch* (11) nachgewiesen.

Die nachfolgende Einwanderung von Baumbirken (c2), die Verdrängung der Sträucher durch diese und die Zeit der Birkenwälder, oder besser Birken-Parktundra (d1) rechnen ebenfalls noch zur Bøllingzeit.

Während über die bisher geschilderten Verhältnisse bei den Gelehrten weitgehend Einigkeit herrscht, ist die nachfolgende Zone Ic, manifestiert in den LPZ d2-3, in ihrer Existenz umstritten. Gemäss (85) wird ohne sie eine Unterscheidung von Bølling- und Allerødinterstadial sinnlos. Unsere Befunde zei-

gen eine kurze, aber nachhaltige Auflichtung der Birkenbestände, gefolgt von einer längeren Regenerationsphase. Dabei wirkt sich bei verminderter örtlicher Pollenproduktion der Fernflug von den bereits nahegerückten Kiefernwäldern aus. Die Regenerationsphase läuft von einem gras- und kräuterreichen Stadium über ein Gebüschstadium mit Wacholder und Weiden zu erneut vorherrschenden Birkenbeständen ab. In diese wandert dann bald die Kiefer ein. Im Prozentdiagramm wird ein zweimaliger Rückschlag vorgetäuscht. *Schloss* (123) fand in den Vogesen – anhand von Prozentdiagrammen – ebenfalls ein zweiteiliges Ic. Auch *Welten* (156) geht von einem mehrteiligen Ic aus, versteht aber etwas anderes darunter: bei ihm dauert die Ältere Dryaszeit 600 Jahre und schliesst den überwiegenden Teil des bewegten Abschnitts d1, der gewöhnlich zu Ib gerechnet wird, mit ein. Der Nachweis von Ic gelang auch in den Westalpen (Tourbiere de Chirens, 153), im Innegletschergebiet (Rosenheimer See) (17), im bayerischen Alpenvorland (125) und in den Thuralpen (Ballmoos, 151), wobei letztgenannter Nachweis mit Fragezeichen zu versehen ist, da die vorhergehende Birkendominanz von Ib fehlt. Als Ursache dafür käme ein Hiatus (eventuell auch zu grosse Probenabstände) oder verspätete Einwanderung in Frage. Im westlichen Bodenseegebiet wies *A. Bertsch* (11) Ic an den Buchenseen nach. Für das Fehlen dieser Phase in seinen übrigen Profilen macht er zu geringe Sedimentationsraten oder Störungen der Profile in diesem Bereich verantwortlich. *Kaiser* (73) konnte an einem subfossilen Kiefern-Birken-Wald bei Winterthur zeigen, dass dieser in Ic wegen vermehrten Materialeintrags von den Hängen (Abschwemmung) grossenteils abstarb. Zusammenfassend kann man (17) und (113) darin zustimmen, dass der Nachweis von Ic wegen der kurzen Dauer dieses Abschnitts delikat ist und sehr geringe Probenabstände erfordert. Darüber hinaus dürfte er nicht an jeder Lokalität gelingen, da in klimatisch ungünstigen Lagen die Vegetationsentwicklung noch nicht weit genug fortgeschritten war, um deutlich regredieren zu können, und in günstigen Lagen Ausmass und Dauer der Klimaschwankung nicht ausreichten, um einen Rückschlag erkennen zu lassen.

Die Phase regenerierter Birkenbestände nach dem Abklingen der regressiven Phase (d4) rechnet bereits zum Allerød. Nun gewinnt die Kiefer rasch an Boden. Sie erreicht bald etwa den gleichen Flächenanteil wie die Birke und drängt diese im Verlauf des 1000 Jahre umfassenden Abschnitts langsam, aber stetig zurück. Je weiter man am Nordrand des Alpenbogens nach Osten geht, desto früher und besser ausgebildet findet man die Kiefernwälder [zum Beispiel (80), (124), (125), (120), (119), (17), (19), (114)]. Daraus könnte man eine Wanderung in westlicher Richtung folgern, wenn man keine lokalen Refugien annimmt. Eine Einwanderung von Westen über die Schotterfelder entlang des Rheins scheidet angesichts des späteren Auftretens in den Vogesen (123) wohl aus. Genauso unwahrscheinlich ist die Einwanderung aus den eisfrei gebliebenen Gebieten im Norden, hätten doch dabei die klimatisch ungünstigen Hochlagen von Schwarzwald, Baar oder Schwäbischer Alb überwunden werden müssen. Davon abgesehen, scheint die Kiefern Ausbreitung dort nicht früher stattgefunden zu haben, soweit die geringe Anzahl der vorliegenden Diagramme eine Aussage erlaubt (80), (82), (118). Die Befunde von (73) mit Kiefern nachweis im späten Ib nur 15 km südwestlich der Nussbaumer Seen zeigen jedoch, wie gross die zeitlichen Differenzen bei der Kiefern Ausbreitung auch in begrenzten Gebieten waren und machen damit die subspontane Ausbreitung von lokalen Refugien wahrscheinlich,

wobei nach Osten – wohl klimatisch bedingt – Refugiendichte und Ausbreitungsgeschwindigkeit zunehmen.

Der Bestandesaufbau der spätglazialen Wälder kann nicht allein aus Pollenanalysen erschlossen werden, dazu bedarf es neben Erwägung der Ökologie der Baumarten solcher Funde, wie sie (73) beschreibt. Im Stadium der Ausbreitung hat die Kiefer wohl zunächst die Südhänge und flachergründigen Standorte besiedelt und der Birke die schattigen Lagen überlassen. Bei weiterer Ausbreitung der Kiefer und Bildung von Mischbeständen dürfte die Birke mehr und mehr in den Unterstand geraten sein (73).

Rausch (119) nimmt zwar für diese Zeit bereits die Ausbildung von Höhenstufen mit einer unteren *Pinus-sylvestris*- und einer oberen *Pinus-mugo*-Stufe an, doch spielt die letztgenannte im Bodenseegebiet, wie von *Lang* (80) und *A. Bertsch* (11) erkannt, die damit *K. Bertsch* (13) widerlegen konnten, keine Rolle. *Kaiser* (73) fand zwar *Pinus mugo*, macht aber keine Angaben über die Mengenverhältnisse und deren zeitliche Änderung.

P. Wegmüller (151) teilt II in den Thuralpen durch einen Birkenvorstoss in zwei Teile. Dieser Birkenvorstoss wurde im Bodenseegebiet oft und sehr ausgeprägt gefunden und bereitete viel Kopfzerbrechen. Noch *Lang* (80) setzte ihn – mangels Datierungsmöglichkeit – mit Ic gleich. Inzwischen steht – nach zahlreichen Funden des Laacher Bimstuffs und im Einklang mit den Radiocarbonaten, fest, dass dieser Birkenvorstoss wohl ins Allerød zu stellen und mit der Ablagerung des Laacher Tuffs synchron ist. Nachweise in den Westalpen (153) und in Norddeutschland (104) zeigen die Verknüpfung der Tuffablagerung von Laach mit einem Birkenvorstoss als weitverbreitetes Phänomen. Wenn nun ausgerechnet *A. Bertsch* (11) im westlichen Bodenseegebiet keinen Birkenvorstoss findet, so zeigt dies wiederum, dass diese Erscheinung als Folge der Wirkung des vulkanischen Ascheregens auf das komplizierte Kiefern-Birken-Mosaik nur an bestimmten Stellen nachweisbar ist: Wo bislang noch reine Birkenwälder waren (Buchenseen), ist kein Birkenvorstoss nachweisbar (wohl aber wäre mit Influxdiagrammen unter Umständen eine Auflichtung der Birkenwälder nachweisbar), wo die Kiefer bereits allein dominierte, auch nicht – eine Analogie zur Problematik des Ic-Nachweises.

Kaiser (73) konnte zeigen, dass der Laacher Vulkanausbruch – er geht von einer Serie von Eruptionen im Verlauf eines Jahres aus – eine starke Depression des Jahrringwachstums der Kiefern für mehr als ein Jahrzehnt zur Folge hatte. Nimmt man nun an, dass die Kiefern infolge der Trübung und des Staubgehalts der Luft einen grossen Teil ihrer Nadeln einbüssten, so leuchtet ein, dass die Birke als laubwerfender Baum bei Verlust ihrer Blätter sich rascher erholen konnte. Die Influxdiagramme entlarven denn auch den Birkenvorstoss als Kiefernrückgang bei konstantem Influx des Birkenpollens. Da dieser Zustand etwa 100 Jahre gewährt haben dürfte, war gewiss nicht nur verminderte Blüte, sondern verminderte Individuenzahl der Kiefer die Ursache des Influxrückgangs. Hier bietet sich nun eine Stellungnahme zu der früher üblichen Verknüpfung: Birkenvorstoss = regressive Phase, Kiefernvorstoss = progressive Phase an, die bereits *A. Bertsch* (11), verwarf, sich aber nicht dazu durchringen konnte, auf eine klimatische Deutung des wechselnden Birken/Kiefern-Verhältnisses ganz zu verzichten, sondern nun die Birkenvorstösse je nach stratigraphischer Position mal als regressiv, mal als progressiv interpretierte. Das obige Beispiel zeigt, dass bereits die Komplexität eines Ökosystems, das nur aus zwei botanischen Hauptkomponenten be-

steht, solche schematischen Schlüsse verbietet. Selbst der vielleicht näherliegende Blick auf die Niederschläge und die hydrologischen Verhältnisse statt auf die Temperatur sollte unterbleiben, wenn keine weiteren Hinweise vorliegen. Am oberen Beispiel zeigte sich wieder der Wert der Influxdiagramme, die zwar kein Ersatz, aber eine gleichwertige Ergänzung der Prozentdiagramme sind.

In der zweiten Hälfte von II treten erstmals Pappeln, vermutlich *Populus tremula*, in nennenswertem Masse im Gebiet auf.

Die jüngere Dryaszeit (III) bringt Veränderungen im Vegetationsbild, die mit grosser Sicherheit auf eine Klimaverschlechterung zurückzuführen, im Bodenseegebiet jedoch weniger einschneidend sind als in vielen anderen Landschaften. Für eine Auflichtung der Kiefernwälder spricht die Ausbreitung des Wacholders (vergleiche 11), die Zunahme der Kräuter, besonders von *Artemisia*, die Influxabnahme und der erhöhte mineralische Anteil am Sediment, was jedoch nicht für jene Teile der Nussbaumer Seen gilt, die bereits von der Wasserzufuhr von mineralischen Steillagen abgeschnitten sind (Nu 4). Auffällig ist das vermehrte Auftreten von Sphagnumsporen in III, das in diesem Zusammenhang, da massiertes Auftreten von Bleichmoosen im Gebiet wohl als Novum betrachtet werden muss, eher als Indiz für zunehmende Feuchtigkeit zu gelten hat. Dies würde auch mit den Befunden von (73) über das Ende des spätglazialen Waldes bei Winterthur übereinstimmen. Gleicher Ansicht ist Lang (80), der bereits den geringen Einfluss des Klimarückschlags auf die Wälder im Bodenseegebiet erkannt hatte.

Welten (156) und S. Wegmüller (153) gliedern die jüngere Dryaszeit in zwei Phasen. Dies ist auch an den Nussbaumer Seen möglich, wo sich in der Mitte von III ein etwas stärkerer Bewaldungsrückgang von kurzer Dauer abzeichnet, nach welchem die bis dahin ständig seltener gewordenen Birken sich allmählich wieder etwas ausbreiten können. Pappeln sind nun stärker am Waldaufbau beteiligt.

Das Praeboreal (IV, e3 + 4) und damit das Postglazial beginnt mit der erneuten Massenausbreitung der Birke. Wie und warum sie die Kiefer so zurückdrängte, dass beide Holzarten nun gleichermassen am Waldaufbau beteiligt sind, bleibt unklar. Dieser praeboreale Birkenvorstoss scheint wiederum ein Charakteristikum des Rheingletschergebietes zu sein, denn bei (105), (11), (102), (149) und (88) ist dieser Vorstoss ebenso kräftig wie an den Nussbaumer Seen, in den Nachbarlandschaften, beginnend im Norden, über Ost und Süd nach Westen, ist er wesentlich schwächer und fehlt stellenweise (87), (47), (30), (80), (151), (127), (154) und (123); weiter im Westen (41), (153) und Osten (120) fehlt er ganz.

Mit dem Birkenvorstoss (e3) wandern wärmeliebende Gehölze in die Kiefern-Birkenwälder mit Pappeln ein (Hasel, Ulme, Eiche und Erle) und breiten sich aus (e4). Der Anteil von Birke und Kiefer geht zurück. Am Boden der nun häufigen, dichten Haselgebüsche können Gräser und Kräuter nur noch spärlich gedeihen (Va = f1).

Bei der Beschreibung der Vegetationsentwicklung nach dem Praeboreal sind Vergleiche mit anderen Landschaften nur noch bedingt möglich, und dies aus zwei Gründen: 1. liegen nicht so viele neuere Untersuchungen an postglazialen Sedimenten vor wie an spätglazialen, und 2. divergiert die im Spätglazial für weite Teile Mitteleuropas und darüber hinaus in den Grundzügen ähnliche und daher vergleichbare Entwicklung durch Standortsdifferenzierung und die Artenvielfalt immer mehr und macht Vergleiche schwieriger.

Die Massenausbreitung der Hasel findet im Boreal (V) ihren Höhepunkt, als während mehr als einem Jahrtausend die Wälder nur aus Hasel und den EMW-Arten bestehen. Über das Aussehen dieser Wälder und die Ursachen für die langsamere Ausbreitung der EMW-Arten ist viel spekuliert worden, zumal diese Überlegungen auch für das übrige Quartär bedeutsam sein könnten. Bevor hierzu eine eigene Hypothese beigezeichnet wird, sei zunächst ein Blick auf die Diagramme geworfen: Zu Beginn von V verschwanden die Lichthözer *Pinus*, *Betula* und *Populus* aus dem Gebiet. Der Rückzug von *Juniperus*, *Salix* und *Hippophaë* auf ganz seltene Reliktstandorte erfolgte schon früher. Allenthalben stockten dichte Wälder aus Halblicht- und Halbschatt-hölzern. Mistel und Efeu waren häufig, Sträucher wie Holunder und Schneeball nicht selten. Eiche und Ulme waren recht verbreitet, wenngleich ihr Anteil in Vb (f2) etwas abnahm. Jetzt wanderte auch die Esche ein. Die Linde war zwar schon kurz nach Ulme und Eiche gleichzeitig mit dem Ahorn erschienen, breitete sich aber während V nur langsam aus. Einzelfunde von *Picea*-pollen machen das Auftreten der ersten Fichten im östlichen Graubünden und in St. Gallen für diese Zeit wahrscheinlich. Den Erkenntnisstand über die Fichteneinwanderung in die Ostschweiz fasst (22) zusammen; einen Überblick über die ganze Schweiz gibt (95). Die Eibe wanderte an der Wende V / VI ein. Sie kam im Gebiet wohl überwiegend in den Tobeln und an den Steilhängen der Molasse vor.

Geht man das *Corylus*/EMW-Problem an, so ist zunächst die unterschiedliche Pollenproduktion der einzelnen Arten zu bedenken: Die Hasel ist bekanntlich im Vergleich zu den EMW-Arten, besonders natürlich zu Linde, Esche und Ahorn, im Diagramm stark überrepräsentiert (59), (3). Berücksichtigt man dies, so ist die Annahme ausgedehnter, reiner Haselbestände lediglich mit einzelnen Eichen und Ulmen als Überhältern nicht notwendig. Bezieht man die Alnuskurve in die Überlegung mit ein, so ergibt sich eine Erklärung für Haselanteile von fast 70% im Diagramm: die Erle wanderte offenbar schon zu Beginn des Postglazials ins Rheingletschergebiet ein und fristete dann während 1500 Jahren vereinzelt an unbekannten Standorten fernab der Nussbaumer Seen ihr Dasein (eventuell an Bächen oder in kleinen Waldsümpfen), um sich im Atlantikum plötzlich stark auszubreiten. Die Diagramme sprechen dafür, dass diese Ausbreitung auf Kosten der Hasel ging (die gleichzeitige leichte Zunahme des EMW in den Prozentdiagrammen ist ein Effekt der Berechnungsweise). Da man die Erle heute vor allem an den Seeufern und bachbegleitend findet, könnte man annehmen, sie habe damals die Hasel von dort verdrängt. Die kurz zuvor ansteigende Eschenkurve spricht dafür, dass die Esche, die ja in den Standortansprüchen der Erle nahesteht, an diesem Verdrängungsprozess beteiligt war. Die Haselkurve geht im Influxdiagramm sowohl mit dem Eschen- als auch mit dem Erlenanstieg zurück. Da Pollenprofile stets Feuchtstandorten entstammen und demnach in ihnen die Pflanzen solcher Standorte übervertreten sind, könnte ein guter Teil des borealen Haselpollens lokaler Produktion entstammen. Damit könnten sich die riesigen Haselwälder des Boreal auf einige ufernahe Gebüsche und etwas Unterholz in den «Eichenmischwäldern» (das EMW-Problem soll hier nicht diskutiert werden!) reduziert haben.

Der ältere Teil des Atlantikum (VI) lässt sich in drei Phasen gliedern: In der ersten ist die Hasel noch häufig (f3), in der zweiten ist sie an den Feuchtstandorten bereits von Esche und Erle abgelöst (g1) und in der dritten wandert die Buche ins Gebiet ein (g2). In den montanen Lagen vor allem im Süden des

UG breiteten sich Tannen und Fichten aus, weshalb an den Nussbaumer Seen nun die empirischen Kurven dieser Holzarten einsetzen. Efeu und Mistel waren in VI noch häufig. Neben der Eibe schien nun auch der Buchsbaum Standorte in der weiteren Umgebung zu haben. Offenbar konnte er sich später, synchron zu frühen Rodungsphasen, ausbreiten (152). Mit der Stechpalme hatte sich bereits in V ein weiteres subatlantisches (im arealkundlichen Sinn) Element eingefunden.

Durch Vergleiche des zeitlichen Auftretens der Schatthölzer an den verschiedenen Lokalitäten lässt sich die Einwandungs- und Ausbreitungsgeschichte dieser Arten rekonstruieren, jedoch nur mit Hilfe gut datierter Diagramme aus vergleichbaren Höhenlagen. Solche Diagramme liegen bislang nicht in genügender Anzahl vor. Bei den bisherigen Versuchen wurde teilweise auf biostratigraphisch datierte Diagramme zurückgegriffen und damit ein Zirkelschluss vollzogen.

Das jüngere Atlantikum (VII) bringt einschneidende Veränderungen im Vegetationsbild: Die Massenausbreitung der Buche drängt die EMW-Arten zurück und verschlechtert die Lichtverhältnisse am Waldboden derart, dass die Sträucher seltener werden (Ausnahme: *Frangula* und *Rhamnus* in den sich ausbreitenden Erlenbruchwäldern). Dies lässt sich besonders schön *Taxus* erkennen, dessen Pollen nur noch in Phasen auftritt, da die Buchenbestände dezimiert sind.

Die Bucheneinwanderung und -ausbreitung erfolgte im ostschweizerischen Alpenvorland und überhaupt im Rheingletschergebiet offenbar auffallend früher als in den Westalpen (153), (5) oder gar im französischen Zentralmassiv (89). Die Zeitdifferenz übersteigt 1000 Jahre. Auch gegen Osten scheint die Buche nördlich der Alpen später aufzutreten (19), (114), (120).

Südlich der Alpen erfolgte die Einwanderung zwischen 8000 und 7000 BP, die Ausbreitung zwischen 6000 und 5000 BP (127). Leider fehlen bisher zusammenfassende Arbeiten über die Buchenausbreitung, wie sie für Fichte und Tanne in grosser Zahl vorliegen, weshalb das Bild noch ziemlich verworren erscheint. Jedenfalls scheint, was die Ausbreitung der Buche betrifft, diese im Rheingletschergebiet mit am frühesten erfolgt zu sein (vor 6000 BP). Während die Einwanderung sicherlich eine Verspätung entlang der Wanderwege erkennen liesse – und hier ist durchaus an das Erreichen des Rheingletschergebietes aus Norditalien über die Alpenpässe zu denken – waren für den Ausbreitungszeitpunkt wohl ökologische Kriterien, vor allem die Konkurrenz anderer Waldbäume, ausschlaggebend. Wo Tanne (Westen) oder Fichte (Osten) bereits bestandesbildend vorhanden waren, hatte es die Buche mit Sicherheit schwerer. In der Mitte des Alpenbogens (Rheingletscher) waren die beiden Nadelhölzer fast gleichzeitig und mittelspät eingetroffen und hatten sich, zumindest ausserhalb der Bergwälder, noch nicht ausbreiten können, als die Buche einwanderte. Mancherorts, zum Beispiel im Hunsrück, konnte sich die Buche selbst gegen den EMW erst spät und mit menschlicher Hilfe durchsetzen (37).

VII lässt sich in folgende Abschnitte gliedern: 1. Massenausbreitung der Buche und Buchen-EMW-Zeit (g3), 2. Durch menschliche Eingriffe wird das Gleichgewicht zugunsten von Hasel, Weiden und Pappeln und zuungunsten von Buche, Esche, Ahorn, Linde und Ulme verschoben. Kräuter finden auf Freiflächen günstige Wuchsbedingungen. Die Tanne hat vorübergehend Standorte in unmittelbarer Nähe.

Am Federsee fällt die erste Kulturphase mit der Massenausbreitung der Bu-

che zusammen (106). Da diese nahe den äussersten Endmoränen des Rheingletschers kaum wesentlich später erfolgt sein dürfte als im Bodenseegebiet, scheinen entweder am Federsee ältere neolithische Kulturen fassbar zu sein als am Bodensee und im Schweizer Mittelland (155), (102), (60), (61) und (149) oder der zweite Buchengipfel (=h1) wurde als erster bezeichnet und der eigentliche erste unmittelbar nach dem Steilanstieg (g3, besonders gut in den Influxdiagrammen zu sehen) nicht erkannt.

Zu Beginn des Boreal (VIII) in h1 stockten allenthalben Buchenwälder mit Eichenbeteiligung. Esche und Ahorn kamen nur noch an Spezialstandorten vor, Ulme und Linde waren bereits sehr selten. Dann (k2) zogen wiederum menschliche Eingriffe in die Wälder ihre Bestände in Mitleidenschaft und dezimierten die Restvorkommen von Linde und Ulme weiter. Auf den Rodungsflächen konnten sich lichtbedürftige Gehölze wie Hasel ausbreiten. Die Tanne stieg erneut mit einzelnen Vorposten aus den montanen Lagen herab. Im dritten Teil von VIII (h2) – nach Abklingen der Kulturphase k2 – konnten sich die Buchenwälder regenerieren. Das Ende der geschlossenen Kurve von *Hedera* spricht für eine Klimaverschlechterung oder für eine deutliche Verschlechterung der Lichtverhältnisse in den Wäldern. In der letzten Phase von VIII, k3, nehmen die Anzeichen menschlicher Tätigkeit wieder zu, ohne dass die Buchenwälder zunächst nachhaltig beeinflusst worden wären. Die Eichen wurden seltener, Eschen und Erlen dagegen häufiger.

Zu Beginn des älteren Subatlantikums (IX) erschien mit der Hainbuche der letzte postglaziale Rückwanderer im Gebiet. Zugleich wurden die Buchenwälder wieder sehr in Mitleidenschaft gezogen und teilweise durch lichte Waldgesellschaften wechselnder Zusammensetzung abgelöst (k4). Dann – Phase 2 (k5) – gewann – mit Hilfe des Menschen – die Eiche die Vorherrschaft in den Wäldern. Die Zunahme von Wacholder und Weiden ist ein Indiz für den parkartig lichten Waldaufbau. Dies geschah, wie das Auftreten von Nussbaum, Edelkastanie und Roggen beweist, zur Zeit der römischen Landnahme. In Phase 3 (h3) überwogen erneut dunkle, dicht geschlossene Buchenwälder mit geringem Anteil an Eichen und Hainbuchen. Die Auenstandorte wurden von Eschen und Ulmen, im Verein mit Eichen und Hainbuchen besiedelt. Von seiten der Forstwissenschaft (*Hagen & Nussbaumer*, schriftliche Mitteilung) wird eine Beteiligung der Hainbuche am Waldaufbau in der Nachbarschaft der Nussbaumer Seen für wenig wahrscheinlich gehalten und der Hainbuchenpollen auf Fernflug aus den hainbuchenreichen Gebieten im Westen (Diessenhofen) zurückgeführt. Da die Hainbuche reichlich Pollen produziert, ist dies mit einem Anteil von 10% am Gesamtpollen durchaus zu vereinbaren.

Im abschliessenden jüngeren Subatlantikum (X) wurde die Pflanzendecke gewaltigen Eingriffen unterworfen, deren Ursachen und Auswirkungen in Kapitel 5.4. behandelt werden sollen. Vorweg nur eine kurze Gliederung der Vegetationsabfolge: In Phase 1 (k6) wird der Grossteil der Waldflächen endgültig in Kulturland verwandelt. Der Bewaldungsgrad sinkt unter den heutigen Stand. Buchen und Hainbuchen werden rar. Die verbliebenen Wälder sind licht und bestehen überwiegend aus Eichen mit viel Wacholder im Unterstand. In Phase 2 (k7) wird die Hainbuche sehr selten; Fichte und Kiefer breiten sich aus. Am Ende dieser Phase nimmt der Getreidebau stark zu. In Phase 3 (k8) wird der Wacholder sehr selten, Fichten und Kiefern bleiben häufig, und der Getreidebau wird grossflächig von Grünlandwirtschaft abgelöst. In Phase 4 (k9) geht die Grünlandwirtschaft wieder zurück, und der

Anbau von Getreide wird forciert. Weitere Einzelheiten, auch im Zusammenhang mit dem Massenaufreten des Pollens von *Humulus/Cannabis*, werden in Kapitel 5.4. behandelt.

5.3. Zur Klimageschichte

Auf die Schwierigkeiten bei der Rekonstruktion früherer Klimate hat *Frenzel* (35) hingewiesen. Postglaziale Wärmeschwankungen sind wegen ihres geringen Ausmasses pollenanalytisch nur an Waldgrenzstandorten fassbar (20), (94).

Auch im Spätglazial sind die terrestrischen Ökosysteme, denen ein grosser Teil des abgelagerten Pollens entstammt, wegen ihrer Komplexität, ihrer Selbstregulierung und der Trägheit, mit der sie auf Änderungen in der unbelebten Natur reagieren, schlechte Klimazeiger. Der Pollen einzelner, vor allem thermophiler oder kälteempfindlicher Arten, zum Beispiel von *Viscum*, *Hedera* und *Ilex* wird seit geraumer Zeit zur Erforschung des Paläoklimas herangezogen (71). Sehr gut geeignet als Klimaindikatoren sind Wasserpflanzen, deren Diasporen durch Vögel rasch verbreitet werden, und die weniger von anderen Faktoren wie den Lichtverhältnissen im Bestand abhängig sind (72). So erkannte bereits von *Post* (115) die Bedeutung von *Trapa* und *Cladium* als Klimazeiger.

Als weitere Klimazeugen können die Seespiegelstände (Kapitel 5.1.) und die Änderung des Sauerstoffisotopenverhältnisses (Kapitel 4.5., Pollendiagramm Nu 10, Abbildung 30) angeführt werden. Das Zusammenspiel von Temperatur und Hydratur bei der Beeinflussung des Seespiegels hat *Digerfeldt* (24) erläutert.

Interpretiert man Seespiegelschwankungen klimatisch, so setzt man voraus, dass Änderungen der Abflussschwelle keine Rolle gespielt haben. Zwar sind solche Änderungen nicht mit Sicherheit auszuschliessen, besonders für die historische Zeit, doch scheint es nicht angebracht, bei der Vielzahl der nachgewiesenen Seespiegelveränderungen jedesmal die richtige Schwellenerhöhung oder -absenkung bemühen zu wollen.

Als pflanzliche Klimaindikatoren kommen an den Nussbaumer Seen *Najas marina* und — bedingt — *Trapa natans* und *Cladium mariscus* in Frage. Das Vorkommen von *Trapa* ist lediglich durch 2 Pollenfunde für die mittlere Wärmezeit belegt, und *Cladium*, die heute noch vorkommt, fällt als Indikator für nachwärmezeitliche Abkühlung aus. Das grosse Nixkraut wird zwar noch von *Nägeli* (107) für die Nussbaumer Seen angegeben und hat gegenwärtig noch Standorte im Bodenseegebiet, doch sind seine Samen in den Sedimenten der Nussbaumer Seen nur von Vb bis einschliesslich VI zu finden, was für den Verbreitungsschwerpunkt in dieser Zeit spricht. Ähnliches lässt sich bei *Viscum*, *Hedera* und *Ilex* beobachten, die alle drei rezent und blühend im UG vorkommen, in den Pollendiagrammen jedoch ihre Hauptverbreitung in VI und VII haben und spätestens in IX erlöschen.

Bei der Rekonstruktion des spätglazialen Klimas ist der Vergleich mit einer grossen Zahl von Arbeiten möglich, die bereits in Kapitel 5.2. zitiert wurden und die in der klimatischen Grossgliederung: Älteste Dryaszeit — Bølling-Interstadial (progressiv) — Ältere Dryaszeit (regressiv) — Allerød-Interstadial (progressiv) — Jüngere Dryaszeit (regressiv) — Praeboreal (progressiv) über-

einstimmen. Auf die Rekonstruktion von Temperaturverhältnissen soll hier verzichtet werden.

Die Erwärmung am Ende von Ia ist offenbar den Änderungen in der Biosphäre vorausgeeilt, was kaum verwundert. Zwar zeigt die Isotopenkurve am Ende von Ia noch einen Rückschlag, doch wäre es verfrüht, hiermit ein Praebølling-Interstadial abtrennen zu wollen, zumal das Verhalten der Isotopenkurve in Tönen, wo sicher nur ein Bruchteil des Karbonats biogenen Ursprungs ist, noch nicht restlos aufgeklärt ist. Der Rückgang des Polleninflux zu dieser Zeit wird auch besser durch den Verdrängungseffekt (Kapitel 4.4.) erklärt. Bei der Erhellung des Klimarückschlags von Ic gehen Prozentdiagramm (Abbildung 22), Influxdiagramm (Abbildung 32) und Isotopenkurve (Abbildung 37) Hand in Hand und bestätigen den Befund von Nu 10.

Die Temperaturen des Allerød dürften bereits nahe den heutigen gelegen haben. Die Isotopenkurve zeigt innerhalb von II 2 kleinere Rückschläge, von denen der zweite kurz unterhalb des Laacher Tuffs liegt und von *Eicher* (26) als Gerzenseeschwankung bezeichnet wurde.

Die Jüngere Dryaszeit ist, wenngleich in Nu 10 pollenstratigraphisch nicht typisch ausgebildet, als klimatischer Rückschlag durch die Isotopenkurve klar abgehoben. Mit Beginn des — hier stratigraphisch nicht sehr mächtigen — Praeboreal scheinen die Temperaturen rasch beträchtlich angestiegen zu sein. Dies deckt sich mit den Befunden von (26) im Umkreis der Alpen.

Über praeboreale Klimaschwankungen ist viel diskutiert worden (160), (7), (4), (83), (78) und (79). An den Nussbaumer Seen lassen weder die Pollendiagramme noch die Isotopenkurve etwas Derartiges erkennen, ebenso wenig etwas einer Friesland-Schwankung (6) Vergleichbares. Es muss allerdings eingeräumt werden, dass die Kenntnisse des Paläoklimas im Bereich der Vorwärmezeit (= IV) am geringsten sind, da die Isotopenkurven hier die einzigen Klimazeugen sind und zudem die Datierung schwierig ist (meist geringe Sedimentmächtigkeit, häufige Altersinversionen, keine Eichung der Daten durch die Dendrochronologie möglich).

Etwas besser werden die Kenntnisse ab V, doch sind auch hier noch viele Fragen offen. Nach der Isotopenkurve könnte das Klimaoptimum bereits an der Wende IV/V erreicht worden sein. Anfang V fällt die Isotopenkurve etwas ab, bleibt aber klar über dem Allerød-Niveau. Ein hohes Niveau der Isotopenkurve im weiteren Verlauf von Va und der gleichzeitige Anstieg des Seespiegels könnte erhöhte Niederschläge bedeuten. Für diese Zeit liegen Ergebnisse aus Skandinavien vor (24), die sinkende Wasserspiegel und ein warmes, trockenes Klima für Va annehmen. Der hier auftauchende Widerspruch könnte eine Frage der Datierung sein, abgesehen davon, dass Klimaschwankungen in Mitteleuropa und in Skandinavien nicht unbedingt synchron und gleichsinnig zu verlaufen brauchen.

In der zweiten Hälfte von V, etwa von 8700–8400 BP, sinkt die Isotopenkurve fast auf Allerødniveau. Da gleichzeitig der Wasserspiegel auf den Stand von IV zurückgeht, dürfte es relativ kühl und sehr trocken gewesen sein. Dies stimmt etwas mit der von *Bortenschlager & Patzelt* (20) nachgewiesenen Venedigerschwankung überein. *Heuberger* (62) postuliert für dies Zeit ein Anwachsen der Gletscher und *Frenzel* (37) mutmasst erniedrigte Frühjahrs- und Frühsommertemperaturen. Dennoch war das Klima offensichtlich gut genug, um die Massenausbreitung von *Najas marina*, *Hedera* und *Viscum* zu erlauben. Wieder wärmer, aber auch feuchter dürfte es am Übergang V/VI (etwa 8400–8000 BP) geworden sein: Bei konstantem

Seespiegel sind die Isotopenwerte hoch. Abgesehen davon, dass diese Klimabesserung etwas früh liegt, stimmt der Befund mit den Ansichten der meisten anderen Autoren überein.

Nachfolgend (zirka 8000–7500 BP) könnte eine leichte Temperaturabsenkung bei konstantem Seespiegel stattgefunden haben. *Frenzel* (37) hingegen schliesst für die Zeit auf konstant gutes Klima. Stagnierende Seespiegel in der ersten Phase von VI konnten auch in Skandinavien nachgewiesen werden (24).

Für den Rest von VI liegen hohe, aber schwankende Isotopenwerte und ein absinkender Seespiegel vor, was wiederum gut mit den Befunden in Nord-europa übereinstimmt. Auch (37) geht für diese Zeit (zirka 7500–6300 BP) von gleichmässig günstigem Klima aus. Damals (um 7500 BP) muss sich im Gewässerhaushalt ein entscheidender Umschwung vollzogen haben, wie die nun auch in den tiefen Seebecken einsetzende Kalkfällung, welche die Sedimentationsraten kräftig erhöht, beweist. Interessanterweise breitete sich in dieser Zeit die Erle aus, und wenig später wanderte die Buche ein.

Der entscheidende, postglaziale Klimasturz, der die mittlere Wärmezeit beendet und die Temperaturen auf die heutige Grössenordnung absinken lässt, ist wegen eines Hiatus in Nu 10 nicht genau lokalisierbar, muss aber zwischen 7000 und 5200 BP stattgefunden haben. Er ist mit dem Absinken der Isotopenkurve auf Allerød-niveau, mit dem Verschwinden von *Najas marina*, dem Rückgang von *Hedera* und *Viscum*, sowie dem Anstieg des Seespiegels sehr gut gekennzeichnet. Die zeitliche Parallelstellung zur Frosnitzschwankung (6400–6200 BP, 20), die *Frenzel* (37) als Ausdruck einer grossräumigen Klimaverschlechterung, hervorgerufen durch verstärkte meridionale Zirkulation, wertet, liegt nahe. Weitere Untersuchungen hierzu wären wünschenswert.

Wie schon erwähnt, sind die noch folgenden Schwankungen der Isotopenkurve sehr gering. Demzufolge dürfte das erneute Absinken des Wasserspiegels am Ende von VII (zirka 5300–4800 BP, synchron k1, der ersten neolithischen Kulturphase) vor allem auf verminderte Niederschläge zurückzuführen sein. Dies konstatiert auch (37). Danach scheint ein vorübergehender Klimarückschlag zu Beginn des Subboreals eine feuchtere Phase eingeleitet zu haben, die den Seespiegel wieder ansteigen liess (zirka 4600–4400 BP).

Im weiteren Verlauf von VIII lässt die Isotopenkurve 3 schwächere Rückschläge – am Ende von k2 (4000–3700 BP) und in h2 bis k3 (3700–3600 und 3300–3100 BP) erkennen. Damit geht auch der Rückgang beziehungsweise das Verschwinden von *Hedera* und *Viscum* einher. Der Seespiegel sank während einer zweiten neolithischen Kulturphase (k2) noch einmal ab, begann jedoch ab zirka 3700 BP wieder anzusteigen. Die letzte der genannten Klimaverschlechterungen wird von (62), (20), (34) und (37) bestätigt. Sie wird als Löss-Schwankung bezeichnet. Für Nordeuropa wird ebenfalls für VIII über weite Phasen sehr trockenes Klima angenommen, und Anstieg der Seespiegel bei zunehmender Feuchtigkeit nach IX hin (1), (24).

Der Spiegel der Nussbaumer Seen stieg nun ständig bis etwa 1200 BP und blieb dann mehr als ein Jahrtausend bis zur künstlichen Absenkung auf diesem hohen Niveau.

Aus der Isotopenkurve lässt sich vielleicht eine leichte Klimabesserung zwischen zirka 2800 und 2400 BP, sowie zwischen 2000 und 1800 BP herauslesen. Von ähnlichen Annahmen geht auch (37) aus. Für die Völkerwanderungszeit nehmen viele Autoren eine Klimaverschlechterung an. Wenn-

gleich dies einleuchten würde, ist ein sicherer Nachweis bisher nicht gelungen. Auch an den Nussbaumer Seen bleibt dafür wegen des Ausfalls der Isotopenkurve nur der Hinweis des Seespiegelanstiegs. Dieser kam im Mittelalter zum Stillstand, was mit der Annahme einer Klimabesserung in dieser Zeit übereinstimmen würde.

Abschliessend sei noch einmal betont, dass das Ausmass dieser postglazialen Klimaschwankungen im Vergleich zu den spätglazialen recht gering war. So waren die Jahresmitteltemperaturen zur Zeit des wärmezeitlichen Klimaoptimums im Durchschnitt sicherlich höchstens 2 bis 3 Grad höher als heute, wogegen man für die spätglazialen Stadiale Ic und III eine Absenkung der Jahresmittel von 5 bis 6 Grad gegenüber heute annehmen kann.

- 5.4. *Zur Beeinflussung der Vegetation durch den Menschen seit dem Neolithikum*
Erste, flüchtige Spuren menschlicher Präsenz sind in den Diagrammen seit VII (g3) zu erkennen. Gehäuft treten sie erstmals nach der Massenausbreitung der Buche, Ende VII, etwa ab 5300 BP auf (k1, Nu 7. 1–5, Nu 8.9). Zu dieser Zeit hatten die Seen vermutlich ihren tiefsten Wasserstand überhaupt, und die Sedimentation in den Becken war schon merklich erhöht. Die nun eingetretenen Veränderungen waren so gravierend, dass man neolithische Besiedlung der Seeufer annehmen muss: Die Pollenkonzentration geht auf die Hälfte zurück, dabei wird vor allem der Pollen von Buche, Ulme, Linde und Esche sehr selten. Die Eiche geht leicht zurück; Hasel und Ahorn bleiben konstant; Weiden und andere Sträucher nehmen zu (alles bezogen auf den Influx). Sehr starke Zunahme ist bei den Kräuterpollen zu erkennen. Die empirischen Kurven von Getreide und Spitzwegerich beginnen. An der Kräuterpollenzunahme sind vor allem Hochstauden (Apiaceae, Asteraceae, *Geum*-Typ, *Filipendula*, *Acontium*-Typ und mesophile Kräuter (Fabaceae, *Mercurialis*, *Hypericum*-Typ, Scrophulariaceae) beteiligt. Die Kulturphase ist zweiteilig (besonders ausgeprägt in Nu 7, in Nu 8 schlechter zu erkennen). Die beiden Teile sind pollenfloristisch sehr ähnlich (siehe oben) und durch eine Regenerationsphase (bei Nu 8 nur andeutungsweise) getrennt. Nach dem Ende der zweiten Teilphase breitet sich zunächst die Erle aus, bevor sich die Buchenwälder wieder schliessen. Ulme und Linde erholen sich nicht mehr von den Eingriffen. Der Influx sinkt nach dieser Kulturphase ab und steigt erst mit Beginn der nächsten (k2) wieder an.

Bei der Deutung dieser Befunde ist zu bedenken, dass Schwankungen der Sedimentationsrate in kurzen Zeitspannen (bis 300 Jahre) kaum erkannt werden können, und die Influxwerte deshalb mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Anders ausgedrückt, es ist nicht zu entscheiden, ob bei verminderter Pollenkonzentration verminderter Influx oder erhöhte Sedimentationsrate vorliegt. Vermutlich wurde die Sedimentationsrate durch Eutrophierung und Bodenerosion vorübergehend erhöht. Die ersten 3 Kulturphasen zeichnen sich durch stark erhöhte Influxwerte aus, vermutlich deshalb, weil die Wälder nur aufgelichtet und nicht grossflächig gerodet wurden, und weil starke Pollenproduzenten wie die Hasel gefördert wurden. Dadurch wurde die kleinflächige Rodung von Buchenbeständen und ufernahen Hartholzauen überkompensiert.

Die Wirtschaftsweise ist schwer zu erschliessen: Zwar wurde Getreide angebaut, doch scheint dies angesichts des Kräuterpollenspektrums eher auf Wiesen denn auf Äckern geschehen zu sein. Es ist anzunehmen, dass ein

grosser Teil dieser Kräuter nicht als Unkraut galt, sondern willkommener Bestandteil der Nahrung war. Bei der Ernährung spielte sicher auch die Haselnuss eine grosse Rolle, wenngleich die Förderung der Hasel wohl unbewusst erfolgte. Gegen ausgedehnte Waldweide spricht das Ausbleiben des Wacholders. Von einer zweimaligen Besiedlung mit Unterbrechung und späterer Verödung (zugleich Anstieg des Seespiegels) kann ausgegangen werden. Näheres zur Wirtschaftsweise und Umwelt der Neolithiker ist (149), (150), (159) und (140) zu entnehmen, die neolithische Siedlungen gerade der näheren Umgebung behandeln.

Die zweite Phase stärkerer menschlicher Einflussnahme (k2, Nu 7.7, Nu 8.11) ist im Vergleich zur ersten weniger scharf ausgeprägt, aber länger (4300–3700 BP). Erneut wurden die Buchenwälder aufgelichtet (Influsznahme fast aller Arten, auch der Buche selbst, überproportional aber von Hasel, Erle, Licht- und Kulturzeigern bestätigen dies), Hasel, Birken und Weiden konnten sich ausbreiten. Das Ausbleiben deutlicher Gipfel der Kräuter und Kulturzeiger könnte daran liegen, dass die Siedlungen und Wirtschaftsflächen weiter vom See ab lagen (höherer Wasserstand als bei k1). Diese Phase ist wohl ins späte Neolithikum zu stellen.

Darauf folgte eine lange Phase wenig beeinflusster Buchenwälder, in der allerdings die Funde von Kulturzeigern nie ganz aussetzen (h2, Nu 7.8, Nu 8.12).

Anschliessend häufen sich die Kulturzeiger, besonders *Plantago lanceolata*, *Artemisia* und andere Apophyten; der Getreidebau hingegen blieb begrenzt. Dies könnte mit der sich fortsetzenden Klimaverschlechterung und dem steigenden Seespiegel zusammenhängen. Die Buchenwälder wurden erst gegen Ende dieser Periode stark geschädigt. Im Gegensatz zu den beiden ersten Kulturphasen unterblieb diesmal die Haselausbreitung; aufgelassene Flächen wurden von Weiden, Birken und Erlen besiedelt. Der Gesamtinflux ändert sich nur geringfügig. Verstärkte Sedimentation ist wahrscheinlich. Nach dem Abklingen des menschlichen Einflusses kann man jeweils mit einem Rückgang der Sedimentationsraten rechnen, doch sinken diese nicht mehr auf den Stand, den sie vor der betreffenden Kulturphase hatten, weshalb die mittleren Sedimentationsraten (hier ist von limnischer Sedimentation die Rede) seit der ersten Kulturphase bis zur Gegenwart im Schnitt ansteigen. Die oben beschriebene Kulturphase am Ende von VIII (k3, etwa 3200–2800 BP) ist wohl in die Bronzezeit zu stellen.

Mit der frühen Eisenzeit entwickelte der Mensch die technischen Möglichkeiten, die Wälder rasch zu dezimieren (denn Brandrodung war offenbar stets die Ausnahme, wenn überhaupt je absichtlich praktiziert) und machte davon sofort regen Gebrauch, wie das Absinken des Gesamtinflux auf knapp die Hälfte und der Rückgang aller wichtigen Holzarten ausser der Birke bestätigen. Dies ist nur im Influxdiagramm zu erkennen (k4, Nu 8). Im weiteren Verlauf der vorrömischen Eisenzeit, der Kelten- oder La-Tène-Zeit (k4, obere Hälfte, Nu 7.10 oben, Nu 8.14 oben) traten Veränderungen ein, die auch im Prozentdiagramm zu sehen sind, obwohl sie, wie das Influxdiagramm zeigt, weniger drastisch waren: Der Getreidebau nahm zu; die Anbaumethoden wurden den unsrigen, vielmehr denen unserer Grosseltern, ähnlicher (vielleicht Beginn der Dreifelderwirtschaft), wie Funde von Getreideunkräutern, die noch vor wenigen Jahrzehnten im Gebiet häufig waren (*Polygonum aviculare*, *Centaurea cyanus*, *Anagallis*), zeigen. Die restlichen Waldbestände wurden durch die aufkommende Waldweide sehr verändert (Ausbreitung

von Eiche, Erle, Hasel, Birke, Kiefer und Wacholder). In dieser Zeit wanderte die Hainbuche ein (in die weitere Umgebung, vergleiche Kapitel 5.2.). Die Zunahme der Ruderalpflanzen (*Rumex*, *Urtica*, *Chenopodiaceae*) belegt die wachsende Eutrophierung der Tieflagen, also der Seen und ihrer Umgebung, auf Kosten der Höhen und Hänge, wo der Nährstoffentzug Verhagerungszeiger förderte (*Calluna*). Die Eiche wurde zum dominierenden Waldbaum, gefördert durch Schweinemast und unregelmäßige Einschläge. Die Prozentkurve der Eiche hat einen Doppelgipfel; der Tiefstand dazwischen – von kurzer Dauer und von einem Birkengipfel begleitet – entspricht der römischen Landnahme. Im Influxdiagramm entpuppt sich der Tiefstand der Eichenkurve als starke Zunahme des Gesamtinflux und besonders der Lichthölzer (Birke, Erle, Hasel) bei unverändertem *Quercus*-Influx. Die Römer setzten die bisherige Wirtschaftsweise in verstärktem Umfang fort. Darüber hinaus bürgerten sie den Roggenanbau und die Kultur von Weinstock, Nussbaum und Edelkastanie ein. Sie förderten auch den Obstbau (*Pyrus-Prunus*-Typ, *Rosaceae*). Sie dürften auch die verbliebenen Auenwälder gerodet haben (Absinken der Kurven von Ulme, Linde und Esche). Die nicht ackerfähigen Feuchtstandorte dicht bei den weiter steigenden Seen (nun etwa 1 m über dem heutigen Stand) blieben unbehelligt (Erlenkurve).

Die Phasen k4 und k5 (von der Hallstattzeit bis zur Römerzeit) stellen ein gewisses Kontinuum dar. Die Wirtschaftsweise änderte sich während diesen mehr als 1000 Jahren kaum. Trotz schlechter werdender klimatischer Bedingungen (Seespiegel steigt) waren der Bevölkerungsdruck und auch die kolonisationsfähigkeiten der Menschen offenbar gross genug, um die Umwelt wesentlich stärker und dauerhafter zu verändern, als dies die vorhergegangenen Kulturen vermocht hatten.

Zu beachten ist auch die Koinzidenz des Auftretens von Roggen und der Secalietea-Unkräuter *Papaver rhoeas* (*Papaveraceae*), *Centaurea cyanus* und *Polygonum convolvulus*! Der Wintergetreidebau scheint also erst mit der Einführung des Roggens aufgekommen zu sein.

In der Spätantike, ab dem 3. Jahrhundert nach Christus, begann das Gebiet, wie alle römischen Nordprovinzen, zu veröden. Siedlungen hielten sich nur an festen Plätzen. Ob hierfür allein die zunehmenden Alemanneneinfälle verantwortlich sind, oder ob diese selbst nur eine vordergründige Ursache, selbst nur eine Erscheinung eines ökologisch-ökonomischen Umbruchs sind, der die Antike in einer jahrhundertelangen Katastrophe enden liess, ist eine Streitfrage. Eine fortschreitende Klimaverschlechterung, die Ende VIII einsetzte und sich schubweise über den ganzen Abschnitt IX hinzog, könnte dahinterstehen.

In dem menschenleer gewordenen Gebiet gewannen die Schatthölzer ihre natürliche Vorherrschaft zurück (h3, Nu 6.4, Nu 7.11, Nu 8.16). Dabei gesellte sich der Buche nun mancherorts die Hainbuche bei. Sie war durch die Niederwaldwirtschaft und die regellose Holzentnahme der Römerzeit in der Einwanderung gefördert worden und konnte sich nun auf den Brachflächen und in den zunächst noch lichten Wäldern ausbreiten. Auch der Ulmenanteil wuchs noch einmal. Die Eiche, den Schatthölzern von Natur aus unterlegen, ging zurück.

Die nachfolgende Kulturphase, die ein bis zur Gegenwart andauerndes Kontinuum einleitet, und mit welcher der Abschnitt X beginnt (k6, Nu 6.5, Nu 7.12, Nu 8.17 unten) sollte nach den Erkenntnissen der Historiker und Archäologen im frühen 8. Jahrhundert einsetzen. Ab dieser Zeit belegen die

Funde alemannischer Friedhöfe Siedlungskontinuität im Gebiet, lassen einigermassen stabile politische Verhältnisse (Herrschaft der Karolinger) diese Kontinuität zu. In den der Römerzeit folgenden Perioden der alemannischen Landnahme, der fränkisch-alemannischen Kriege und der ständigen Fehden und Kämpfe zur Zeit der Merowinger ist in diesem Gebiet nicht mit fester Besiedelung und geregelter Landbau zu rechnen. Gewisse Anzeichen für Eingriffe, in ihrer Art und Intensität den voreisenzeitlichen vergleichbar, sind vorhanden. Danach erfuhr die Vegetation Eingriffe, die das bislang Dagewesene weit übertrafen: Rodungen reduzierten die Waldfläche endgültig auf den heutigen Stand (oder sogar darunter). Die Restbestände wurden durch Waldweide (Förderung von Eiche und Wacholder) sehr in Mitleidenschaft gezogen (Auflichtung). Die hainbuchen-, ulmen- und eschenreichen Wälder auf den besten Böden fielen als erste der Axt zum Opfer. Der rapide Rückgang der Carpinuskurve könnte auch dadurch mitverursacht sein, dass sie im Nieder- und Mittelwald zwar noch stockte, wegen der kurzen Umtriebszeit jedoch nicht mehr zur Blüte kam. In einer klimatisch vielleicht nicht wesentlich günstigeren, aber stabilisierten Phase gewannen neben der Waldnutzung durch Schlag, Streunutzung und Waldweide der Anbau des Getreides und die Kultur von Nussbaum und Edelkastanie (unter Umständen Fernflug aus dem St. Galler Rheintal, doch gibt es, laut Mitteilung von *C. Hagen*, gegenwärtig im Hüttwiler Wald noch einige Exemplare) an Bedeutung. Der Getreidebau ging nach kurzer Zeit wieder auf wesentlich geringeren Umfang zurück, blieb aber deutlich über dem Stand der Römerzeit. Zugleich nahm der Hanfanbau beträchtlich zu (*Humulus/Cannabis*-Kurve bis 60%!) und blieb lange Zeit sehr wichtig. Auch der Weinbau mehrte sich. Dieser Wandel könnte sich um 950 A.C. vollzogen haben, und zwar aus folgendem Grund: Zur Zeit des ersten Salierkönigs Konrad sass auf dessen Pfalz Hohenbodman als Pfalzgrafen ein Geschlecht, das unter anderem die Burg Unterstammheim erbaute und im Kampf mit Bischof Salomo von Konstanz die Hegemonie im Gebiet anstrebte (sogenannte Kammerbotenkriege, [96], *B. Meyer* mündliche Mitteilung), dabei unterlag, wodurch das Gebiet letztendlich dem Kloster St. Gallen und dessen Klostervögten, den Kyburgern, zufiel. Nun könnte man vermuten, dass die Klöster, die Konzerne und zugleich Banken jener Zeit, im Bestreben, aus ihrem weiten Besitz möglichst viel herauszuwirtschaften, den Anbau bestimmter Produkte je nach Gegend steuerten. Für dieses Gebiet förderten sie vielleicht den Hanfanbau zur Fasergewinnung, sowie den Wein- und Obstbau. Die Bauern erzeugten darüber hinaus alles Notwendige für ihren Eigenbedarf. *H. Müller* (102) führt den *Humulus/Cannabis*-Gipfel im Schleinsee auf den neuzeitlichen Hopfenanbau zum Bierbrauen zurück, was wenig wahrscheinlich ist, denn was für Hopfenwälder wären nötig, um 60% Anteil an der Pollensumme zu erreichen, ganz abgesehen davon, dass der Bierhopfen aus weiblichen Pflanzen gewonnen wird, die bekanntermassen keinen Pollen produzieren. Beim Hanfanbau hingegen wurden die frischgeernteten Pflanzen im Wasser, also im See eingeweicht, wodurch der Pollen im Sediment künstlich angereichert wird und eine viel zu grosse Anbaufläche vortäuscht. In Nussbaumen waren innerhalb und zusätzlich zur Brachzelge Flächen für den Hanfanbau reserviert, was sich in Flurnamen erhalten hat (146). Der *Humulus/Cannabis*-Gipfel fehlt erwartungsgemäss in telmatischen Profilen und ist auch nicht in allen limnischen gleich kräftig entwickelt, da die Hanfeinweicher sicherlich bestimmte Plätze am See bevorzugten. Dieser Zusammenhang zwischen der Zunahme des

Hanfanbaus und der Machtübernahme durch die Klöster kann leider nicht historisch belegt werden.

Weitere Verknüpfungen pollenstratigraphischer Änderungen mit historischen Ereignissen des Mittelalters sind nicht möglich, da die nachfolgende Entwicklung dieser ziemlich abgelegenen Gegend bruchlos verlief (*B. Meyer*, mündliche Mitteilung) und diese Phase wegen der immer noch mässigen Sedimentationsraten bei rund 500 Jahren Dauer nur etwa 50 cm Sediment umfasst.

Den gemeinsamen Fichten-Kiefern-Vorstoss, verbunden mit leichtem Rückgang der Kulturzeiger, kann man im Einvernehmen mit den Erkenntnissen der Forsthistoriker (67), (54) ans Ende des 15. Jahrhunderts stellen (vermutlich subspontane Ausbreitung dieser Arten, als der Nutzungsdruck auf die devastierten Wälder in den unruhigen Zeiten, als der Thurgau zur Eidgenossenschaft kam, vorübergehend etwas nachgelassen haben dürfte). Damit beginnt Xb (k7, Nu 6.6, Nu 7.13, Nu 8.18). Nachzutragen ist noch, dass bis dahin die Pollendiagramme keine sicheren Hinweise für das Vorkommen von Fichte und Tanne im engeren Untersuchungsgebiet liefern. Vereinzelt Auftreten von Tannen, wie es *Seitschek* (130) auch für das westliche Bodenseegebiet auf Staubeckentonnen annimmt, ist allerdings seit Mitte VII wahrscheinlich. Auf allen übrigen nicht extrem schweren Böden liess dagegen die hier äusserst vitale Buche der Tanne – wie auch *Seitschek* einräumt – keine Entfaltungsmöglichkeit.

Mit der Fichten-Kiefern-Ausbreitung (die Zunahme des Kiefernpollens geht wohl, wie Funde von Spaltöffnungen zeigen, vor allem auf Ausbreitung dieses Baumes an den Seeufern zurück), wurde die Eiche seltener, wenngleich die Waldweide und teilweise auch die unregelmässige Nutzung anhielten. Auch die Kultur von Nussbaum und Kastanie, sowie – wenigstens vorübergehend – der Hanfanbau nahmen ab.

Nachfolgend werden die pollenanalytischen Befunde mit den historisch belegten Ereignissen der Neuzeit (mündliche Angaben von *B. Meyer*) verknüpft:

1. (Nu 6, 480 cm, Nu 7, 690 cm, Nu 8, 445 cm): Der Anbau von Hanf und Getreide geht zurück; der Anteil von Eiche und Wacholder in den Wäldern nimmt zugunsten von Kiefer, Fichte, Tanne und Esche ab. Es werden vermehrt Reben gepflanzt und die Zunahme der Kräuter (Wiesenpflanzen und Unkräuter) könnte ein erster Hinweis auf beginnende Grünlandwirtschaft sein. Verstärktes Auftreten von *Chenopodiaceae* (Hackfruchtunkräuter) könnte die Einführung der Kartoffel anzeigen (53).

Zwar sind in dieser Zeit die historischen Quellen noch spärlich und ungenau, doch spricht vieles, auch die Datierung der folgenden Ereignisse, dafür, den beschriebenen Einschnitt an den Anfang des 18. Jahrhunderts AC zu stellen.

2. (Nu 6, 460 cm, Nu 7, 680 cm, Nu 8, 420 cm): Nach einem ersten Rückschlag, der ins 17. Jahrhundert datieren dürfte, und anschliessender Erholung geht die Zahl der Nussbäume offenbar endgültig stark zurück. Dies geschah ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts (38). Zuvor soll der Nussbaum zu den häufigsten Erscheinungen der thurgauischen Obstbaulandschaft gehört haben.

3. (Nu b, 450 cm, Nu 7, 670 cm, Nu 8, 405 cm): Der Hanfanbau scheint schlagartig fast völlig zu erlöschen; der Getreideanbau nimmt beträchtlich zu und die Waldweide hört auf (Rückgang von *Juniperus*); sie wird von der Grünlandwirtschaft abgelöst (Zunahme der Gräser und Kräuter). Die Forst-

wirtschaft beginnt, die übernutzten Mittelwälder zu regenerieren und in Hochwälder überzuführen. Dies geschah zu Beginn des 19. Jahrhunderts AC. Damals wurde durch die Einfuhr von Baumwolle der Anbau von Hanf und Flachs unrentabel, und zugleich kam man von der alten Dreifelderwirtschaft ab.

Die nachfolgende Zeit von 1800 AC bis zur Gegenwart ist nur noch in Nu 8 enthalten. Die Entwicklung soll gemäss den Befunden der einzelnen, analysierten Proben dargestellt werden:

395 cm: Der Rückgang des Getreideanbaus, die Expansion der Grünlandwirtschaft, die Zunahme des Obstbaus (*Pyrus-Prunus*-Typ, Rosaceae) dürfte der Zeit um 1870 AC entsprechen, als mit dem Bau der Eisenbahnen billiges Getreide importiert werden konnte und der hiesige Anbau unrentabel wurde, weshalb man auf Grünlandwirtschaft umstellte (Beginn der Kommerzialisierung der thurgauischen Landwirtschaft, (21).

385 cm: Weitere Zunahme der Nuss- und Obstbäume, vermehrte Anpflanzung der Esche und der Rückgang des Getreidebaus könnte in den Ausgang des 19. Jahrhunderts AC verweisen.

375 cm: Die Nussbäume werden selten, der Getreideanbau geht zurück, die Grünlandwirtschaft bleibt vorherrschend, und Fichtenanpflanzungen nehmen zu. Da im ersten Weltkrieg sehr viele Nussbäume zur Herstellung von Gewehrkolben gefällt wurden, sollte diese Tiefe etwa dem Jahre 1915 AC entsprechen.

365 cm: Der Getreideanbau erreicht einen Tiefstand, doch ist daran der Roggenanteil noch recht hoch. Dies könnte etwa 1930 AC entsprechen.

355 cm: Im Anschluss an die Melioration erreicht der Getreidebau eine neue, nie gesehene Blüte. Roggen dagegen ist kaum mehr gefragt. Der Weinbau hat sich von der Reblauskatastrophe der ersten Jahrhunderthälfte erholt und expandiert nun. Die Zahl der Obstbäume im Gebiet wird durch die Flurbereinigung verringert. Der Kartoffelanbau ist noch verbreitet. Die Grünlandwirtschaft geht leicht zurück; der Tabakanbau erreicht seinen Höchststand (starke Nachfrage der Zigarrenindustrie): dies könnten die frühen fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts sein.

345 cm: Die Grünlandwirtschaft und der Anbau von Roggen gehen weiter zurück, der Weinbau nimmt zu. Ein Pollenfund des *Narthecium*-Typs könnte ein Anzeichen für den Stammheimer Grünspargelanbau sein. Die Getreide- und Hackfruchtunkräuter gehen stark zurück oder verschwinden ganz. Da die Saatgutreinigung um 1960 AC einsetzte, dürfte diese Tiefe etwa das Alter 1965 AC haben.

335 cm: Zunahme der Fichtenkulturen, der Nussbäume und des Maisanbaus weisen dieser Tiefe ein Alter nahe der Gegenwart (etwa 1975 AC) zu. Das ist deshalb nicht verwunderlich, weil das Sediment durch den hohen Tonanteil sehr kompakt und schon in den obersten Partien gut sedimentiert ist (kein gleitender Übergang: Sediment-Wasser).

Eine Übersicht über die soeben erarbeitete Datierung, die zwar keine absolute Gewissheit, aber eine hohe Wahrscheinlichkeit für sich hat, gibt Tabelle 7. Das Wahrscheinlichkeitsintervall dürfte bei den Angaben innerhalb der letzten 100 Jahre bei ± 5 Jahren liegen.

In Abbildung 20 ist die Entwicklung der Sedimentationsraten von Nu 8 für die letzten 2000 Jahre dargestellt. Wie man sieht, steigen sie seit dem Hochmittelalter gewaltig an und dann noch einmal wesentlich stärker in unserem Jahrhundert, besonders seit der Melioration, seit der die Landwirte

Tabelle 7: Die Sedimentationsraten der limnischen Profile Nu 6, 7 und 8 seit der Römerzeit

Zeit (a)	Zeit- spanne (a)	Tiefen			Mächtigkeiten			mittlere Sedimentation (mm/a)		
		(cm) Nu 6	Nu 7	Nu 8	(mm) Nu 6	Nu 7	Nu 8	Nu 6	Nu 7	Nu 8
50 BC		660	845	630						
	350				100	200	250	0,29	0,57	0,71
300 AC		650	825	605						
	400				100	300	350	0,25	0,75	0,87
700 AC		640	795	570						
	250				50	250	200	0,20	1,00	0,80
950 AC		635	770	550						
	550				900	250	550	1,64	0,46	1,00
1500 AC		545	745	495						
	200				500	550	500	2,50	2,75	2,50
1700 AC		495	690	445						
	50				350	100	200	7,00	2,00	4,00
1750 AC		460	680	425						
	50				50	100	200	(1,00)	2,00	4,00
1800 AC		455	670	405						
	70						100			1,43
1870 AC				395						
	45						200			4,44
1915 AC				375						
	15						100			6,67
1930 AC				365						
							100			5,00
1950 AC				355						
	10						100			10,00
1965 AC				345						
	10						100			10,00
1975 AC				335						

beim Wenden ihrer Traktoren fast in den See fahren müssen. Dieser Anstieg der Sedimentationsraten ist ganz ausserordentlich. Will man ein natürliches Pendant dazu suchen, so findet man es allenfalls in den frühesten Phasen des Eisstausees bei unmittelbarer Gletschernähe. So sieht man, wie zur Verarmung der Pflanzenwelt mit der Beschleunigung der Verlandung eine weitere Auswirkung der intensiven Landwirtschaft kommt. Diese rapide Beschleunigung der Verlandung kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden:

1. Materialeintrag durch Bodenerosion auf den Ackerflächen (Tonanteil im Sediment, vergleiche Abbildung 16).
2. Eutrophierung der Seen über Abwässer und durch Dünger (Eintrag oberflächlich und durch die Drainage) fördern das Algenwachstum und damit die autochthone Sedimentation. Damit geht vermehrte Sauerstoffzehrung im Hypolimnion einher, und der See droht umzukippen (darauf deutet auch der starke Schwefelwasserstoffgeruch der oberen Sedimente hin).
3. Durch Wasserspiegelabsenkung wird die Verlandung weiter beschleunigt. Ausser der mehrfach erwähnten in unserem Jahrhundert ist mit einer Absenkung bei der Kanalisierung des Seebachs zu rechnen. Dieser ist auf

der Karte von *Giger* (1666) noch unbegradigt, nicht mehr aber auf der *Weech'schen* Karte von 1743. Dadurch wird der Zeitpunkt einer ersten, pollenanalytisch-stratigraphisch nicht nachgewiesenen Wasserspiegelabsenkung eingeengt. Die Karte von *Weech* zeigt darüber hinaus, dass die Landwirtschaftsflächen auf Mineralböden schon damals fast bis an die Seeufer reichten.

Weitere, bedenkliche Anzeichen für die Folgen der heutigen Wirtschaftsweise können Abbildung 18 entnommen werden. Wenn ein See in einem ländlichen Gebiet fernab grösserer Industrieballungen bereits solche Schwermetallkonzentrationen im Sediment aufweist, wie sehen dann erst die Sedimente von Gewässern in Ballungsgebieten aus, und wohin muss man gehen, um Seen ohne diese Erscheinungen zu finden?

Blieben die Sedimentationsraten der Nussbaumer Seen von nun an konstant, was eine sehr optimistische Annahme ist, so dürften Nussbaumer See und Hasensee in etwa 500 Jahren verschwunden sein. Dem tieferen Hüttwiler See darf man eine doppelt so hohe Lebenserwartung zutrauen. Verlandung von Seen ist ein natürlicher Prozess. Doch hätte dieser an den Nussbaumer Seen noch zwischen 5000 und 10 000 Jahren gedauert. Wird diese Entwicklung nicht wieder zu natürlichen Verhältnissen zurückgeführt, so bleibt nur die Möglichkeit der Ausschürfung neuer Hohlformen durch die nächste Eiszeit.

Betrachtet man abschliessend alle Kulturphasen seit dem Neolithikum im Zusammenhang, so lassen sich nach Art und Intensität der menschlichen Eingriffe in den Naturhaushalt drei Hauptgruppen unterscheiden:

1. Voreisenzeitliche Kulturphasen (Neolithikum und Bronzezeit) von begrenzter Dauer und Auswirkung. Der Gewässerhaushalt wird kaum beeinflusst. Bei den terrestrischen Ersatzgesellschaften handelt es sich überwiegend um naturnahe Waldgesellschaften.
2. Eisenzeitliche Kulturphasen bis einschliesslich der Römerzeit. Der Gewässerhaushalt wird wenig beeinflusst. Die natürlichen terrestrischen Formationen werden langfristig und nachhaltig verdrängt. Die extensive Wirtschaftsweise schafft überwiegend naturnahe Ersatzgesellschaften.

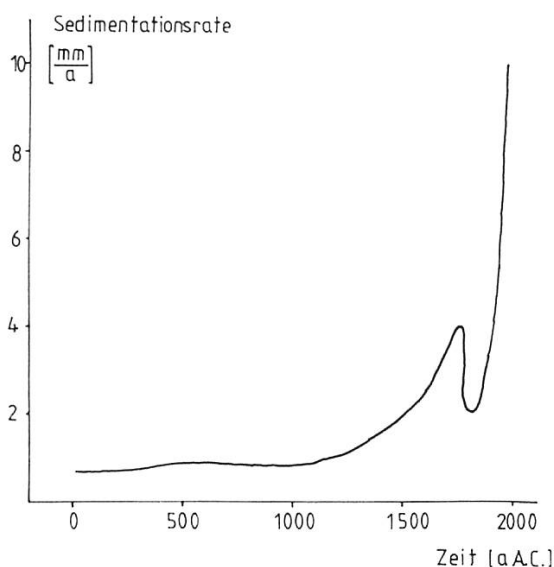


Abbildung 20: Entwicklung der Sedimentationsraten im Ostbecken des Nussbaumersees in den letzten 2000 Jahren.

3. Mittelalterliche und frühneuzeitliche Kulturphase bis ins 19. Jahrhundert AC. Der Gewässerhaushalt wird stark beeinflusst, die Landschaft völlig verändert, doch bleibt die Produktionsweise extensiv und die Ersatzgesellschaften sind mehr oder weniger naturnah.

4. Kulturphase des Industriezeitalters. Der Gewässerhaushalt wird sehr stark beeinflusst. Die intensive Wirtschaftsweise schafft überwiegend naturferne Ersatzgesellschaften. Die Umweltbelastung durch Industrieemissionen wird bedenklich.

6. Zusammenfassung

10 Sedimentprofile von den Nussbaumer Seen, 434 m, Kanton Thurgau/Schweiz, wurden pollenanalytisch untersucht und durch Radiocarbon-Analysen, Funde des Laacher Bimstuffs und Verknüpfung mit der Besiedlungsgeschichte datiert.

Von 3 limnischen Profilen, die zusammen die gesamte Entwicklung vom Abschmelzen des Würmeises bis zur Gegenwart umfassen, wurden zusätzlich zu den herkömmlichen Pollenprozentdiagrammen Influxdiagramme ausgearbeitet.

Ergänzend hierzu wurden an ausgewählten Profilen die botanischen Makroreste, die Sauerstoffisotope $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und verschiedene geochemische Parameter (Glühverlust, Kalkgehalt, Dolomit-/Calcitanteil, Phosphatgehalt, Schwermetallkonzentrationen) analysiert.

Darüber hinaus wurde die Stratigraphie des gesamten Sedimentationsraumes durch weitere 170 nivellierte und teilweise pollenanalytisch datierte Sondierbohrungen erforscht.

Folgendes sind die wichtigsten Ergebnisse:

1. Die 3 Nussbaumer Seen entstanden im waldfreien Spätglazial (Ia, Älteste Dryaszeit) aus einem grossen Eisstausee durch Wasserspiegelabsenkung um 5 m infolge Entstehen eines neuen Abflusses (Eisfreiwerden des südlich gelegenen Thurtals). Der Zeitpunkt dieses Ereignisses ist pollenanalytisch fassbar. Die spätere, postglaziale Verlandung brachte demgegenüber nur noch eine vergleichsweise geringe Abnahme der Wasserfläche.

2. Der Wasserspiegel sank im Verlauf des bewaldeten Spätglazials bis zum Praeboreal auf einen Stand unter dem heutigen, schwankte in Boreal und Atlantikum auf sehr niedrigem Niveau, erreichte im späten Atlantikum und frühen Subboreal während der neolithischen Kulturphasen seinen tiefsten Stand und stieg nach der Mitte des Subboreal ständig an, bis er zu Beginn des Mittelalters einen Stand 2 m über dem heutigen Niveau, erreichte, den er erst durch künstliche Absenkungen jungen Datums wieder einbüsste.

3. Die spätglazialen Interstadiale Bølling und Allerød, sowie die sie abgrenzenden Stadiale Ältere und Jüngere Dryaszeit sind pollenanalytisch und anhand der Isotopenkurven nachgewiesen. Aufgrund der Influxdiagramme ergibt sich ein viel geringerer Bewaldungsgrad und überhaupt eine spärlichere Vegetation des Spätglazials als bislang angenommen.

4. Die Wiederbewaldung vollzog sich über ein Zwergbirken- und ein nachfolgendes Wacholder-Sanddorn-Strauchstadium, dessen Ablösung durch lichten Birkenwald mit 12 700 BP datiert wurde. Die Kiefer wanderte kurz nach der Älteren Dryaszeit (Ic) ein. Die nachfolgenden Birkenvorstösse des

Allerød, von denen der zweite mit der Ablagerung des Laacher Bimstuffs (11 000 BP) verknüpft ist, sind auf verminderte Ablagerung von Kiefernpollen zurückzuführen. Der Klimarückschlag von III war zwar länger als der von Ic, in seinen Auswirkungen auf die Vegetation im Untersuchungsgebiet jedoch weniger gravierend.

5. Der Beginn der Praeboreals (IV) und damit des Postglazials um 10 200 BP wird durch kräftige Birkenausbreitung eingeleitet. Dann wanderten wärmeliebende Gehölze ein, in der Reihenfolge: Hasel, Ulme, Eiche, Erle, Ahorn, Linde und Esche. Dazu kommen seltenere Holzarten, die teilweise auch schon früher zu finden sind (Pappel). Im Boreal und frühen Atlantikum (9600–7800 BP) überwiegt der Haselpollen relativ und absolut. Das Klima war damals schon wärmer als heute. Dies wird durch das häufige Vorkommen der wärmeliebenden Arten: Efeu, Mistel und grosses Nixkraut (*Najas marina*) ab 9000 BP belegt. Als Hauptwaldbildner dieser Zeit gelten Eichen, Ulmen, Linden und Ahorn. Für den Haselstrauch ist das Vorkommen im Unterwuchs der relativ lichten Wälder und an den Seeufern wahrscheinlich. Um 8500 BP und 7800 BP erfolgte durch die Ausbreitung von Esche bzw. Erle und den Rückgang der Hasel ein Bestandesumbau. Dies geht mit einer leichten Klimaverschlechterung einher, die vielerorts gefunden wurde und als Venedigerschwankung bekannt ist.

6. Die Buche erschien um 7300 BP im Untersuchungsgebiet, doch verging noch mehr als ein Jahrtausend bis zur Massenausbreitung dieses Schattholzes (6200 BP). Mit diesem Ereignis ist ein säkularer Klimasturz – der bedeutendste des Postglazials – verknüpft, der die wärmezeitlichen Temperaturen auf die heutige Grössenordnung absinken liess.

7. Ab 5300 BP wurden die Wälder (vorherrschend Buche mit Eiche, Ulme, Linde, Esche, Ahorn), die bislang fast 100% der Fläche bedeckt hatten, durch neolithische Rodungen beeinträchtigt. Die Bestände von Ulme und Linde konnten sich nach dem Abklingen der Eingriffe (4800 BP) nicht wieder erholen. Die Kulturphasen sind ausser durch Rodungen durch Kulturbegleiter und Kulturpflanzen nachgewiesen. Eine zweite, weniger deutliche, spätneolithische Kulturphase zeichnet sich zwischen 4300 BP und 3700 BP ab. Beide neolithischen Kulturphasen sind durch starke Zunahme des Haselpollens ausgezeichnet. Danach, bis 2800 BP, schlossen sich die Buchenwälder wieder dicht, wenngleich ein gewisser, menschlicher Einfluss nie abbrach. Mit Beginn der Eisenzeit wurden die Buchenwälder weitgehend vernichtet – und diesmal endgültig.

8. Die Römerzeit ist durch das Auftreten von Roggen, Nussbaum, Edelkastanie und Wein sowie durch die verstärkte Waldweide (Zunahme von Eiche und Wacholder) gekennzeichnet. Erstmals sind die Schwermetallkonzentrationen im Sediment – besonders die von Blei – merklich erhöht. Ab 300 AC kann man mit einer Klimaverschlechterung (Vernässung) und zunehmender Entvölkerung des Gebiets rechnen. Die natürlichen Waldgesellschaften konnten sich teilweise wieder ausbilden. Als neueingewandeter Baum breitete sich stellenweise die Hainbuche aus.

9. Die mittelalterlichen Rodungen ab 700 AC schufen schlagartig Verhältnisse, die in ihren Symptomen denen des Spätglazials ähneln: Durch Bodenerosion sind die limnischen Sedimente sehr tonhaltig. Die Landschaft wurde weitgehend entwaldet, die Restbestände waren sehr licht. Lediglich Kiefer, Eiche und Wacholder, später auch die Fichte, konnten sich behaupten oder gar ausbreiten. Kulturzeiger, Getreidepollen und vor allem der durch

Einweichen von Hanfpflanzen im See künstlich angereicherte Humulus/Cannabis-Pollen nehmen zu. In neuerer Zeit, ab 1800 AC, folgte dann die Aufgabe der Waldweide und des Hanfanbaus, die teilweise Wiederherstellung der Waldreste durch die Forstwirtschaft, die Ausbreitung der Grünlandwirtschaft, des Kartoffel- und Obstbaus und — nach der Melioration Mitte des 20. Jahrhunderts — die Zunahme von Wein-, Tabak- und Getreidebau (auch Mais).

10. Damit einher geht die Zunahme der Verlandungsgeschwindigkeit in den Seebecken auf das Zwanzigfache (diese war erstmals um 7500 BP durch verstärkte Kalkfällung merklich erhöht worden) und die vermehrte Anreicherung von Schwermetallen im Sediment (Bleikonzentration 16fach erhöht!) als Anzeichen für die Belastung der Seen durch die heutige Wirtschaftsweise.

Summary

10 cores from Nussbaumer lakes, 434 m, Kanton Thurgau, Switzerland, were investigated by pollen-analysis and dated by radiocarbon-analysis, findings of the volcanic tuff from Laachersee, and by connexion with historical events. From 3 limnic cores, which represent together the whole development from deglaciation to present, additionally to traditional diagrams were drawn influx diagrams. Supplementary from chosen cores botanical macrofossils, relation of oxygenium isotopes $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ and some geophysical and -chemical parameters (loss of ignition, content of carbonate, phosphate and metals and relation on carbonate/dolomite) were analysed. The stratigraphy of the lake basin was investigated by 170 sondage borings, which partly were dated and connected by pollen analysis.

These are the main results:

1. The 3 lakes of Nussbaumen originated in Oldest Dryas from 1 large glacier-damed up lake by sinking of water level about 5 m, as a result of breaking out a new outlet (Deglaciation of Thur valley lying towards the south of the lake). This event can be shown in the pollen diagram. In contrast later post-glacial uplandding diminished the sheet of water only a little.
2. Water sank during forested late Weichselian until Praeboreal under present level, fluctuated in Boreal and Atlantikum on very low level, attaining it's deepest level in late Atlantikum and early Sub-Boreal, and rose after middle Sub-Boreal continuously, until attaining it's highest level, 2 m upon present one, in early Middle Age. This level was lost by drainage in 1945.
3. Late Weichselian Interstadials of Bølling and Allerød as well as marking off Stadials Oldest, Older and Younger Dryas are proved by pollen and oxygenium isotope analysis. Influx diagrams indicate for Late Weichselian a much more less grade of forestation and a rarer vegetation at all as till now assumed.
4. Bølling-time reforestation took place beyond a dwarfbirch- and a following Juniper-Sea-Buckhorn-shrub-stage, that's removal by thin growing birch-forest was dated with 12 700 BP. Pine immigrated a short time after Older Dryas. Following outspreadings of birch, second of which is connected with sedimentation of Laacher Tuff (11 000 BP), were caused by reduced deposition of pine pollen. Although climatic regression of Younger Dryas lasted longer than that of Older Dryas, it's consequences on vegetation in the investigation area were less weighty.
5. Beginning of Praeboreal and so that of Holocene at 10 200 BP is marked by strong spreading out of birch. At the same time thermophilous shrubs and trees immigrate, in the sequence: hazel, elm, oak, alder, maple, lime and ash. Additionally appeared rarer species, some of that, like poplar, also more early. In Boreal and early Atlantikum

Chronologie		Klima- u. Erd- geschichte	Vegetationsgeschichte	Seegeschichte	Kulturgeschichte
Alter	Periode				
Daten	nach BLYTT/ SERNAN- DER		nach FIRBAS		
nicht kalibriert					
1975	- 25	Jüngeres		k9	Industriezeitalter Neuzeit
	5	Sub- atlan-	Xb	k8	
1800	150			k7	
1500	400				
750	1200	tikum	Xa	k6	Mittelalter
↑ 300 n.Chr.	1600	Älteres		h3	Alemanen Kelten Eisenzeit
	2000	Subatlan- tikum	IX	k5 k4	
↓ 800	2800				
1200	3200	Sub- boreal	VIII	k3	Bronzezeit Jungsteinzeit
2000	3700			h2	
	4200			k2	
	4800	h1			
3000	5300	Jüngeres Atlant- tikum	VII	k1	
4000	6200			g3	

(9600–7800 BP) pollen of hazel predominated relatively and absolutely. Climate at that time was already warmer than today, as abundant presence of thermophilous species like ivy, mistletoe, holly-leaves naiad, and oxygenium isotope relationship prove. In this time main forest trees were oak, elm, lime and maple. Abundant presence of hazel in the second layer of thin growing forests and at lake and stream shores is probable. At 8500 BP and 7800 BP there were changes in tree relationship because of spreading out of first ash and later alder, connected by decline of hazel. In the same time there was a little deterioration of climate, found on many places in Europe and known as Venediger-Oszillation.

6. Beech appeared at about 7300 BP in this region, but then passed more than thousand years, before this shadow tree spreaded out. (6200 BP). At this time a main climatic deterioration took place, the heaviest one of Holocene, with which warm time temperatures declined to present level.

7. Since 5300 BP natural forests, predominated by beech, together with oak, elm, lime, ash and maple, which till now had covered nearly 100% of landscape, were injured by neolithical clearings. After the end of this clearing period (4800 BP) elm and lime could never recover. Clearing periods are proved unless by clearings by apophyts and anthropophyts. A second neolithical clearing period took place from 4300 BP until 3700 BP. Both neolithical clearing periods show considerable increase of hazel pollen. After that until 2800 BP, beech forest closed densely, although a certain human influence never creased. At the beginning of Iron Time beech forests were destroyed nearly totally – and this time for ever.

8. Roman period is marked by appearing of rye, walnut, sweet chestnut and vine, and by increased pasturage in forest (indicated by increase of pollen amounts of oak and juniper). For the first time concentrations of heavy metals in sediment – especially of lead – increase significantly. After 300 AC probably climate deteriorated (becoming more wet) and human population decreased. Natural forests could reestablish themselves particularly. As a new immigrated tree hornbeam could outspread at some places.

9. Middle Age clearings since 700 AC suddenly created a situation, which symptoms resemble those one of Late Weichselian: soil erosion made lake sediments rich in clay. Landscape became nearly totally deforested, remaining forests were very thin growing. Only Pine, oak, juniper and later spruce too, could resist or even outspread. Apophyts, anthropophyts, especially Cerealia and, first of all, pollen of Hop/Hamp, artificially enlarged in lake sediments by steeping hamp plants, increased. In recent times, after 1800 AC, cultivation of hamp and pasturage in forest were given up, modern forest arose, and also pastures and meadows, potatoes and apples were cultivated, and, after melioration, cultivation of vine, tobacco and corn (also maise) increased.

10. This was accompanied by increasing of upland rapidly at about twenty times (this rapidity at first had increased 7500 BP caused by increased lime production of lake) and by increased abundance of metals in sediment (lead for example has 16-fold concentration as naturally) as indicators for disease of lakes by present economic system.

7. Literaturverzeichnis

1. *Aletse, L.* (1959): Zur Geschichte der Moore und Wälder des nördlichen Holsteins. — *Nova Acta Leopoldina N. F.* **21**, 139: 1–51.
2. *Ammann-Moser, B.* (1975): Vegetationskundliche und pollenanalytische Untersuchungen auf dem Heidenweg im Bielersee. — *Beitr. geobotan. Landesaufn. d. Schweiz* **56**: 76 S.
3. *Andersen, S. T.* (1970): The relative pollen productivity and Pollen Representation of North European trees, and correction factors for tree pollen spectra. — *Geol. Survey of Denmark* **2/96**: 99 S.
4. *Bastin, B.* (1979): Essai de définition d'une terminologie précise applicable au commentaire des diagrammes polliniques se rapportant au Quarternaire. — *Bull. Soc. Bot. Belg.* **112**: 7–12.
5. *Beaulieu, J. L. de* (1977): Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises. — Thèse, Marseille III: 1–358.
6. *Behre, K. E.* (1966): Untersuchungen zur spätglazialen und frühpostglazialen Vegetationsgeschichte Ostfrieslands. — *Eiszeitalter u. Gegenw.* **17**: 69–84.
7. *Behre, K. E.* (1978): Die Klimaschwankungen im europäischen Praeboreal. — *Petermanns geogr. Mitt.* **122**: 97–102.
8. *Beijerinck, W.* (1969): Zadenatlas der nederlandse Flora. — Amsterdam: 316 S.
9. *Berglund, B. et al.* (1978): Paleohydrological changes in the Temperate Zone in the last 15 000 years. Subprojekt B: Lake and mire environments. — Guidebook z. IGCP-Projekt (unpubl.): 340 u. 123 S.
10. *Bertsch, A.* (1960): Über einen Fund von allerödzeitlichem Laacher Bimstuff im westlichen Bodenseegebiet und seine Zuordnung zu Vegetationsentwicklung. — *Die Naturwissenschaften* **47**, 7: 167.
11. *Bertsch, A.* (1961): Untersuchungen zur spätglazialen Vegetationsgeschichte Südwestdeutschlands. — *Flora* **151**: 243–280.
12. *Bertsch, K.* (1929): Wasserspiegelschwankungen des Bodensees in der älteren Nacheiszeit. — *Schriften d. Ver. f. Gesch. d. Bodensees u. s. Umgebung* **56**: 51–59.
13. *Bertsch, K.* (1931): Paläobotanische Monographie des Federseerieds. — *Biblioth. bot.* **103**: 1–127.
14. *Bertsch, K.* (1932): Die Pflanzenreste der Pfahlbauten von Sipplingen und Langenrain am Bodensee. — *Bad. Fundber. z. Ur- und Frühgesch.*: 305–320.
15. *Bertsch, K.* (1941): Früchte und Samen. — 247 S., Stuttgart.
16. *Beug, H. J.* (1961): Leitfaden der Pollenbestimmung. — 1. Lieferung, 63 S., Stuttgart.
17. *Beug, H. J.* (1976): Die spätglaziale und frühpostglaziale Vegetationsgeschichte im Gebiet des ehemaligen Rosenheimer Sees (Oberbayern). — *Bot. Jb. Syst.* **95**, 3: 373–400.
18. *Birks, J., & Berglund, B.* (1979): Holocene pollen stratigraphy of southern Sweden: a reappraisal using numerical methods. — *Boreas* Vol **8**: 257–279.
19. *Bortenschlager, I.* (1976): Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols II: Kufstein–Kitzbühel–Pass Thurn. — *Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck* **63**: 105–137.
20. *Bortenschlager, S., & Patzelt, G.* (1969): Wärmezeitliche Klima- und Gletscherschwankungen im Pollenprofil eines hochgelegenen Moores (2270 m) der Venedigergruppe. — *Eiszeitalter u. Gegenw.* **20**: 116–122.
21. *Brugger, H.* (1938): Geschichte der Thurgauischen Landwirtschaft von 1835 bis 1935. — 108 S., Frauenfeld.
22. *Burga, C.* (1980): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schams und des San Bernardino-Passgebiets (Graubünden, Schweiz). — *Diss. Bot.* **56**: 165 S.
23. *Davis, N. D., Brubaker, L. B., & Webb, T.* (1973): Calibration of absolute pollen influx. — In: *Birks, H. J. B., & West, R. G.* (ed.): *Quaternary Plant Ecology*: 9–25.

24. *Digerfeldt, G.* (1972): The post-glacial development of lake Trummen. — *Folia limnologica scandinavica* **16**: 96 S.
25. *Eberli, J.* (1900): Aus der Geologie des Kantons Thurgau. — *Mitt. thurg. naturforsch. Ges.* **14**: 73–98.
26. *Eicher, U.* (1979): Die $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ - und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in spätglazialen Süsswasserkarbonaten und ihr Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pollenanalyse. — 206 S., Diss. Bern.
27. *Erdtman, Berglund, & Praglowski* (1961/63): An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora. — I, II, 92 u. 84 S., Uppsala.
28. *Etter, H.* (1947): Über die natürliche Waldvegetation des Kantons Thurgau. — *Schweiz. Z. f. Forstwesen* **7**: 11 S.
29. *Faegri, K., & Iversen, J.* (1975): Textbook of Pollen Analysis. — 295 S., Kopenhagen.
30. *Firbas, F.* (1935): Die Vegetationsentwicklung des mitteleuropäischen Spätglazials. — *Biblioth. bot.* **112**: 1–68.
31. *Firbas, F.* (1949/52): Waldgeschichte Mitteleuropas. — Bd. I u. II, 480 u. 258 S., Jena.
32. *Forstner, U., & Müller, G.* (1974): Schwermetallanreicherung in datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee und aus dem Tegernsee. — *Tschermaks miner. petr. Mitt.* **21**: 145–163.
33. *Frechen, J.* (1959): Die Tuffe des Laacher Vulkangebietes als quartärgeologische Leitgesteine und Zeitmarken. — *Fortschr. Geol. Rheinl. Westf.* **4**: 363–370.
34. *Frenzel, B.* (1966): Climatic change in the Atlantic/sub-Boreal transition on the Northern Hemisphere: botanical evidence. — In: *World Climate from 8000 to 0 B.C.* — *Proc. int. Symp. London 1966, Roy. meteorol. Soc.*: 99–123.
35. *Frenzel, B.* (1967): Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. — *Die Wissenschaft (Braunschweig)* **129**: 296 S.
36. *Frenzel, B.* (1972): Einführung z. vegetationsgeschichtlichen Symposium, Innsbruck 1971. — *Ber. deutsch. bot. Ges.* **85**, 1–4: 1–5.
37. *Frenzel, B.* (1977): Postglaziale Klimaschwankungen im südwestlichen Mitteleuropa. — In: *Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa.* — *Erdwiss. Forschung* **13**: 297–322.
38. *Frömelt, H.* (1981): Die Entwicklung der thurgauischen Obstbaulandschaft im 19. und 20. Jahrhundert. — *Mitt. thurg. naturf. Ges.* **44**: 47–74.
39. *Früh, J.* (1906): Zur Morphologie des untern Thurgau. — *Mitt. thurg. naturforsch. Ges.* **17**: 45–67.
40. *Früh, J., & Schröter, C.* (1904): Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. — *Beitr. Geol. Schweiz, geotechn. Ser.* **3**: 751 S.
41. *Gaillard, M. J.* (1981): Etude palynologique de l'évolution tardi- et postglaciaire de la végétation du Moyen-Pays romand (Suisse). — *Thèse, Lausanne*: 517 S.
42. *Gams, H., & Nordhagen, R.* (1923): Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. — 336 S., München.
43. *Gams, H.* (1925): Aus der Geschichte der Flora und Fauna am Bodensee. — *Schriften d. Vereins f. Gesch. d. Bodensees u. s. Umgebung* **53**: 1–38.
44. *Geyh, M.* (1971): Die Anwendung der ^{14}C -Methode. — *Clausthaler tekton. Hefte* **11**: 118 S.
45. *Geyh, M., Merkt, J., & Müller, H.* (1971): Sediment-, Pollen- und Isotopenanalysen an den jahreszeitlich geschichteten Ablagerungen im zentralen Teil des Schleinsees. — *Arch. Hydrobiol.* **69**, 3: 366–399.
46. *Geyh, Merkt, Müller & Streif* (1974): Reconstructions paléoclimatiques et paléoécologiques à partir de l'étude des sédiments lacustres de l'Allemagne méridionale. — *Soc. hydrotech. de France, Question* **1**, Rapport 7: 1–7.
47. *Göttlich, K.* (1960): Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Moore in Oberschwaben. — Teil 1: Moore im Bereich der Altmoräne und der Äusseren Jungmoräne. — *Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württemberg* **115**: 93–174.
48. *Göttlich, K., & Klötzli, F.* (1975): Erläuterungen zu Blatt Singen (Hohentwiel), L 8318, der Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000. — 85 S., Stuttgart.

49. *Gregus, P.* (1945): Bestimmung der mitteleuropäischen Laubhölzer und Sträucher auf xylotomischer Grundlage. — 300 S., Budapest.
50. *Grosse-Brauckmann, G.* (1961): Zur Terminologie organogener Sedimente. — *Geol. Jb.* **79**: 117–144.
51. *Grosse-Brauckmann, G.* (1962): Torfe und torfbildende Pflanzengesellschaften. — *Z. f. Kulturtechnik* **3**/1: 6–29.
52. *Grosse-Brauckmann, G.* (1975): Einige allgemeine Ergebnisse von Torf-Grossrestuntersuchungen. — *Telma* **5**: 39–42.
53. *Grosse-Brauckmann, G.* (1974/76): Zum Verlauf der Verlandung bei einem eutrophen Flachsee (nach quartärbotanischen Untersuchungen am Steinhuder Meer). I.: Heutige Vegetationszonierung, torfbildende Pflanzenges. d. Vergangenheit. — *Flora* **163**: 179–229. II.: Die Sukzessionen, ihr Ablauf und ihre Bedingungen. — *Flora* **165**: 415–455.
54. *Hagen, C.* (1960): Die Entwicklung der forstlichen Zustandserfassung in einigen Waldgebieten der Ostschweiz und ihre Beziehung zur allgemeinen Entwicklung. — *Mitt. d. schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen* **36**, 3: 137–217.
55. *Hantke, R.* (1961): Die Nordostschweiz zur Würmeiszeit. — *Eclogae geol. helv.* **54**/1.
56. *Hantke, R.* (1970): Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Eisstromnetzes in der zentralen und östlichen Schweiz. — *Ber. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br.* **60**: 5–33.
57. *Hantke, R.* (1978/80): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. — 468 u. 703 S., Thun.
58. *Heigl, A., & Scheidegger, R.* (1979): Limnologische Untersuchungen des Hüttwiler-, Nussbaumer-, Hasen- und Bichelsees 1976–1979. — *Mitt. thurg. naturf. Ges.* **43**: 84–103.
59. *Heim, J.* (1970): Les relations entre les spectres poliniques recentes et la végétation actuelle en Europe occidentale. — *Diss. Louvain*.
60. *Heitz-Weniger, A.* (1976): Zum Problem des mittelhologänen Ulmenabfalls im Gebiet des Zürichsees (Schweiz). — *Bauhiniana* **5**/4: 215–229.
61. *Heitz-Weniger, A.* (1977): Zur Waldgeschichte im unteren Zürichseegebiet während des Neolithikums und der Bronzezeit — Ergebnisse pollenanalytischer Untersuchungen. — *Bauhiniana* **6**/1: 61–81.
62. *Heuberger, H.* (1969): Die Alpengletscher im Spät- und Postglazial. — *Eiszeitalter u. Gegenwart* **19**: 270–275.
63. *Hoffmann-Grobéty, A.* (1957): Evolution postglaciaire de la forêt et des tourbières dans les Alpes glaronaises. — *Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel* 1956: 75–122.
64. *Hoffmann-Grobéty, A.* (1968): Etude palynologique et stratigraphique de trois tourbières dans les cantons de St-Gall et Glarus. — *Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel* **38**: 86–98.
65. *Hofmann, F.* (1963): Spätglaziale Bimsstauungen des Laachersee-Vulkanismus in schweizerischen Mooren. — *Eclogae geol. helv.* **56**/1: 147–164.
66. *Hofmann, F.* (1967): Erläuterungen zum Blatt 1052 Andelfingen des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25 000. — 30 S.
67. *Hornstein, F. v.* (1951): Wald und Mensch. Waldgeschichte des Alpenvorlandes. — Ravensburg.
68. *Hugentobler, H.* (1953): Neue Erstfunde von Pflanzen im Thurgau und neue Standorte seltener Pflanzenarten des Kantons. — *Mitt. thurg. naturforsch. Ges.* **36**: 132–143.
69. *Iversen, J.* (1936): Biologische Pflanzentypen als Hilfsmittel in der Vegetationsforschung. — 224 S., Kopenhagen.
70. *Iversen, J.* (1942): En pollenanalytisk Tidsfaestelse af Ferksvandslagene ved Norre Lyngby. — *Medd. dansk. geol. Foren.* **10**/2: 130–151.
71. *Iversen, J.* (1944): *Viscum, Hedera and Ilex* as climatic indicators. — *Geol. Fören. Förh.* **66**: 463–483.

72. *Iversen, J.* (1954): The Late-glacial flora of Denmark and relation on to climate and soil. — Danm. geol. Unders. **4** (3): 1–32.
73. *Kaiser, K. F.* (1979): Ein späteiszeitlicher Wald im Dätttau bei Winterthur/Schweiz. — Diss. 90 S., Zürich.
74. *Katz, N. J., Katz, S. V., & Kipiani, M. G.* (1965): Atlas and keys of fruits and seeds occurring in the quaternary deposits of the USSR. — 365 S., Moskau.
75. *Keller, P.* (1926): Pollenanalytische Untersuchungen an einigen thurgauischen Mooren. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **26**: 1–21.
76. *Keller, P.* (1931): Untersuchungen am Pfahlbau «Bleiche»-Arbon. — Vierteljahresschr. d. naturf. Ges. Zürich **76**: 304–315.
77. *Keller-Tarnuzzer, K., & Reinerth, H.* (1925): Urgeschichte des Thurgaus. — Frauenfeld.
78. *Küttel, M.* (1977): Pollenanalytische und geochronologische Untersuchungen zur Piottino-Schwankung (Jüngere Dryas). — Boreas **6**: 259–274.
79. *Küttel, M.* (1979): Kritische Anmerkungen zu Nachweisen präborealer Klimaschwankungen. — Petermanns geogr. Mitt. **3**: 191–193.
80. *Lang, G.* (1952a): Zur späteiszeitlichen Vegetations- und Florengeschichte Südwestdeutschlands. — Flora **139**: 243–294.
81. *Lang, G.* (1952b): Späteiszeitliche Pflanzenreste in Südwestdeutschland. — Beitr. naturk. Forsch. Südwestdeutschland **11**: 89–110.
82. *Lang, G.* (1954): Neue Untersuchungen über die spät- und nacheiszeitliche Vegetationsgeschichte des Schwarzwaldes. I.: Der Hotzenwald im Südschwarzwald. — Beitr. nat. Forsch. Südwestdeutschland **13**: 3–42.
83. *Lang, G.* (1962a): Die spät- und frühpostglaziale Vegetationsentwicklung im Umkreis der Alpen. — Eiszeitalter u. Gegenw. **12**: 9–17.
84. *Lang, G.* (1962b): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen der Magdalénienstation an der Schussenquelle. — Veröff. geobot. Inst. Rübel **37**: 129–154.
85. *Lang, G.* (1963): Chronologische Probleme der späteiszeitlichen Vegetationsentwicklung in Südwestdeutschland und im franz. Zentralmassiv. — Pollen et Spores **5** (1): 129–142.
86. *Lang, G.* (1970): Florengeschichte und mediterran-mitteleuropäische Florenbeziehungen. — Feddes Repertorium **81** (1–5): 315–335.
87. *Lang, G.* (1971): Die Vegetationsgeschichte der Wutachschlucht und ihrer Umgebung. — Die Wutach: 323–349.
88. *Lang, G.* (1973): Die Vegetation des westlichen Bodenseegebiets. — Pflanzensoziologie **17**. 451 S., Jena.
89. *Lang, G., & Trautmann, W.* (1961): Zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte der Auvergne (Französisches Zentralmassiv. — Flora **150**: 11–42.
90. *Lüdi, W.* (1935): Waldgeschichte und Klimaänderungen im schweizerischen Mittelland während der jüngeren Postglazialzeit. — Vierteljahresschr. naturf. Ges. Zürich **80**: 139–156.
91. *Lüdi, W.* (1951): Ein Pollendiagramm aus der neolithischen Moorsiedlung Weiher bei Thayngen (Kt. Schaffhausen). — Ber. geobot. Forsch. Inst. Rübel 1950: 96–107.
92. *Mangerud, J., Andersen, S. T., Berglund, B., & Donner, J.* (1974): Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. — Boreas **3**: 109–128.
93. *Mangerud, J., & Berglund, B.* (1978): The subdivision of the Quaternary of Norden: a discussion. — Boreas **7**: 179–181.
94. *Markgraf, V.* (1969): Moorkundliche und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an einem Moorsee an der Waldgrenze im Wallis, — Bot. Jb. Syst. **89**/1: 1–63.
95. *Markgraf, V.* (1972): Die Ausbreitungsgeschichte der Fichte in der Schweiz. — Ber. deutsch. bot. Ges. **85**/1–4: 165–172.
96. *Maurer, H.* (1978): Der Herzog von Schwaben. — 359 S., Sigmaringen.

97. Merkt, J., Lüttig, G., & Schneekloth, H. (1971): Vorschlag zur Gliederung und Definition der limnischen Sedimente. — Geol. Jb. **89**: 607–623.
98. Merkt, J., & Streif, H. J. (1970): Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente. — Geol. Jb. **88**: 137–148.
99. Michler, G., Simon, K., Wilhelm, F., & Steinberg, C. (1980): Vertikale Verteilung von Metallen im Sediment eines Alpenvorlandsees als Zivilisationsindikatoren. — Arch. Hydrobiol. **88**/1: 22–44.
100. Moore, P. V., & Webb, J. A. (1978): An illustrated Guide to Pollen Analysis. — 133 S., London.
101. Müller, E. (1979): Die Vergletscherung des Kantons Thurgau während der wichtigsten Phasen der letzten Eiszeit. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **43**: 48–73.
102. Müller, H. (1962): Pollenanalytische Untersuchung eines Quartärprofils durch die spät- und nacheiszeitlichen Ablagerungen des Schleinsees (Südwestdeutschland). — Geol. Jb. **79**: 493–526.
103. Müller, H. J. (1972): Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Vorderrhein- und Lukmaniergebiet. — Flora **161**: 333–382.
104. Müller, H. M. (1965): Vorkommen spätglazialer Tuffe in Nordostdeutschland. — Geologie **14**/9: 1118–1123.
105. Müller, I. (1947a): Über die spätglaziale Vegetations- und Klimaentwicklung im westlichen Bodenseegebiet. — Planta **35**: 57–69.
106. Müller, J. (1947b): Der pollenanalytische Nachweis der menschlichen Besiedlung im Federsee- und Bodenseegebiet. — Planta **35**: 70–87.
107. Nägeli, O. (1900): Über die Pflanzengeographie des Thurgau. II. Teil. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **14**: 1–20.
108. Nägeli, O. (1924): Die pflanzengeographische Bedeutung der Neuentdeckungen in der thurgauischen Flora. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **25**: 165–182.
109. Nägeli, O. (1933): Das Bodenseegebiet als Ausstrahlung wärmeliebender Pflanzen. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **24**: 66–95.
110. Nägeli, O., & Wehrli, E. (1890): Beitrag zu einer Flora des Kantons Thurgau. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **9**: 121–178.
111. Nägeli, O., & Wehrli, E. (1894): Neue Beiträge zur Flora des Kantons Thurgau. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **11**: 1–11.
112. Oberdorfer, E. (1970): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Süddeutschland. — 987 S., Stuttgart.
113. Pennington, W. (1977): The Late Devensian flora and vegetation of Britain. — Philosophical Transactions royal Society London **972**: 247–271.
114. Peschke, P. (1977): Zur Vegetations- und Besiedlungsgeschichte des Waldviertels (Niederösterreich). — Mitt. d. Kommission f. Quartärforsch. d. österr. Akad. d. Wiss. **2**: 84 S.
115. Post, L. v. (1925): Gotlandsagen (*Cladium mariscus* R. Br.) i. Sveriges postarktikum. — Ymer Stockholm.
116. Punt, W., & Clarke, G. C. S. (ed.) (1976ff.): The north-west European Pollen Flora. — **1–3**, 145, 265 u. 138 S., Amsterdam.
117. Pupikofer, J. (1828): Geschichte des Thurgaus. — 1. Aufl. 2 Bde., Zürich.
118. Radke, G. (1973): Landschaftsgeschichte und -ökologie des Nordschwarzwaldes. — Hohenheimer Arbeiten, Pflanzl. Prod. **68**: 121 S.
119. Rausch, K. A. (1975): Untersuchungen zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte im Gebiet des ehemaligen Inn-Chiemseegletschers. — Flora **164**: 235–282.
120. Rösch, M. (1979): Nacheiszeitliche Geschichte und ökologische Bedingungen des Eibenwaldes von Paterzell (Oberbayern). — 211 S., Diplomarbeit Univ. Hohenheim.
121. Schläfli, A. (1972): Vegetationskundliche Untersuchungen am Barchetsee und weiteren Toteisseen der Umgebung Andelfingens. — Mitt. thurg. naturforsch. Ges. **40**: 19–84.

122. *Schläfli, A.* (1979): Die Vegetation der Quellfluren und Quellsümpfe der Nordostschweiz. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **43**: 166–198.
123. *Schloss, S.* (1979): Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen im Sewensee. Ein Beitrag zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der Südvogesen. — Diss. Bot. **52**: 138 S.
124. *Schmeidl, H.* (1971): Ein Beitrag zur spätglazialen Vegetations- und Waldentwicklung im westlichen Salzachgletschergebiet. — Eiszeitalter u. Gegenw. **22**: 110–126.
125. *Schmeidl, H.* (1972): Zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte am Nordrand der bayerischen Voralpen. — Ber. deutsch. bot. Ges. **85**/1–4: 79–82.
126. *Schmidle, W.* (1942): Postglaziale Spiegelhöhen des Bodensees und der Vorstoss des Konstanzer Gletschers. — Schr. d. Ver. f. Gesch. d. Bodensees **68**: 109–142.
127. *Schneider, R.* (1978): Pollenanalytische Untersuchungen zur Kenntnis der spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte am Südrand der Alpen zwischen Turin und Varese (Italien). — Bot. Jb. Syst. **100**: 26–109.
128. *Schüepp, M.* (1961): Klimatologie der Schweiz. C: Lufttemperatur. — Beih. z. d. Annalen d. schweiz. meteorol. Zentralanstalt.
129. *Schweingruber, F.* (1978): Mikroskopische Holzanatomie. — 226 S., Zug.
130. *Seitschek, O.* (1967): Die Weisstanne im Bodenseegebiet. — Hamburg.
131. *Siegenthaler, U.* (1971): Sauerstoff-18, Deuterium und Tritium im Wasserkreislauf. — Diss. Univ. Bern.
132. *Sitterding, M.*, (1972): Eine spätbronzezeitliche Siedlung am Nussbaumersee. — Helvetia archaeologica **9**,3: 13–20.
133. *Stark, P.* (1923): Zur Entwicklungsgeschichte der badischen Bodenseemoore. — Ber. deutsch. bot. Ges. **41**: 361–373.
134. *Stark, P.* (1925): Die Moore des badischen Bodenseegebiets. I.: Die nähere Umgebung von Konstanz. — Ber. d. naturforsch. Ges. z. Freiburg i. Br. **24**: 1–123.
135. *Stark, P.* (1927): Die Moore des badischen Bodenseegebiets. II.: Das Areal um Hegne, Dettingen, Kaltbrunn, Mindelsee, Radolfzell und Espasingen. — Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg i. Br. **28**: 1–238.
136. *Suess, H.* (1970): Bristlecone time calibration of the radiocarbon time scale from 4100 B. C. to 1500 B. C. — Proc. Symp. Radiocarbon dating and Methods of low level counting. Monaco (I.A.E.A. Vienna): 143–151.
137. *Tanner, H.* (1913): Der Hüttwiler- oder Steineggersee. — Mitt. thurg. naturf. Ges. **20**: 169–226.
138. *Trautmann, W.* (1953): Zur Unterscheidung fossiler Spaltöffnungen der mitteleuropäischen Coniferen. — Flora **140**: 523–533.
139. *Troels-Smith, J.* (1955a): Karakterisering af løse jordarter. — Danmarks geologiske Undersøgelse. IV. Raekke, **3**/10: 39–71.
140. *Troels-Smith, J.* (1955b): Pollenanalytische Untersuchungen zu einigen schweizerischen Pfahlbauproblemen. In: Das Pfahlbauproblem. — Basel: 11–58.
141. *Turekian, K. & Wedepohl, K.* (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. — Bull. geol. Soc. Am. **72**: 175–192.
142. *Usinger, H.* (1975): Pollenanalytische und stratigraphische Untersuchungen an zwei Spätglazial-Vorkommen in Schleswig-Holstein. — Mitt. d. Arbeitsgem. Geobot. i. Schleswig-Holstein u. Hamburg **25**: 183 S.
143. *Usinger, H.* (1981): Ein weitverbreiteter Hiatus in spätglazialen Seesedimenten: Mögliche Ursache für Fehlinterpretation von Pollendiagrammen und Hinweis auf klimatisch verursachte Seespiegelbewegungen. — Eiszeitalter u. Gegenw. **31**: 91–107.
144. *Uttinger, H.* (1965): Klimatologie der Schweiz. E: Niederschlag. — Beih. z. d. Annalen d. schweiz. meteorol. Zentralanst.
145. *Viollier, D.* (1924): Die Moor- und Seesiedlungen in der Ost- und Zentralschweiz. — MAGZ **29**: 169–178.

146. *Vögeli, H.* (1958): Geschichte des Dorfes Nussbaumen von 858–1958. — Festschrift zur 1100-Jahrfeier. Frauenfeld.
147. *Walser, H.* (1896): Veränderungen der Erdoberfläche im Umkreis des Kantons Zürich seit der Mitte des 17. Jahrhunderts. — 64 S., Diss. Univ. Bern.
148. *Walter, H., Harnickell, E., & Müller-Dombois, D.* (1975): Klimadiagrammkarten. — 36 S. + 8 Karten, Stuttgart.
149. *Waterbolk, H. T., & van Zeist, W.* (1966/67): Preliminary report on the Neolithic bog settlement of Niederwil. — *Paläohistoria* **12**: 559–580.
150. *Waterbolk, H. T., & van Zeist, W.* (1978): Niederwil, eine Siedlung der Pfyn-Kultur. — Bd. I: Die Grabungen. 186 S., Bern.
151. *Wegmüller, P.* (1976): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den Thuralpen und im Faningebiet (Kantone Appenzell, St. Gallen, Graubünden/Schweiz. — *Bot. Jb. Syst.* **97**/2: 226–307.
152. *Wegmüller, S.* (1966): Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des südwestlichen Jura. — *Beitr. z. geobot. Landesaufnahme d. Schweiz* **48**: 1–143.
153. *Wegmüller, S.* (1977): Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der französischen Alpen (Dauphiné). — 185 S., Bern.
154. *Welten, M.* (1944): Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez. — *Veröff. geobot. Inst. Rübel* **21**: 201 S.
155. *Welten, M.* (1947): Pollenprofil Burgäschisee. — *Ber. ü. d. geobot. Inst. Rübel* f. 1946: 101–111.
156. *Welten, M.* (1972): Das Spätglazial im nördlichen Voralpengebiet der Schweiz. Verlauf, Floristisches, Chronologisches. — *Ber. deutsch. bot. Ges.* **85**/1–4: 69–74.
157. *Welten, M.* (1981): Gletscher und Vegetation im Lauf der letzten hunderttausend Jahre. — *Vorläufige Mitteilung. Jb. d. schweiz. naturf. Ges.*: 5–18.
158. *Winiger, S.* (1971): Das Fundmaterial von Thayngen-Weier im Rahmen der Pfyn-Kultur. — 82 S., Basel.
159. *van Zeist, W., & Casparie, W. A.* (1974): Niederwil, a palaeobotanical study of a Swiss Neolithic lake shore settlement. — *Geologie en Mijnbouw* **53** (6): 415–428.
160. *Zoller, H.* (1960): Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. — *Denkschr. schweiz. naturf. Ges.* **83**/2: 112 S.
161. *Züllig, H.* (1956): Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers. — *Schweiz. Z. Hydrol.* **18**: 7–143.

Verwendete Karten:

Landeskarte der Schweiz 1:100 000, Blatt 28, Bodensee.
 Landeskarte der Schweiz 1:25 000, Blatt 1052, Andelfingen.
 Katasterpläne 1:5000 der Gemeinden Nussbaumen, Uerschhausen, Buch und Hüttwilen, herausgegeben vom Vermessungsamt Frauenfeld.
 Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1052, Andelfingen.
 Moorkarte von Baden-Württemberg 1:50 000, L 8318, Singen (Hohentwiel).
Gyger, H. K.: Karte des Kantons Zürich aus dem Jahre 1667.
Sulzberger, J. J.: Topographische Karte des Kantons Thurgau von 1838.
Weech, J.: Karte der Nussbaumer Seen von 1743.
 Luftbildaufnahme des Eidgenössischen Amtes für Landestopographie Bern/Wabern.

8. Anhang

8.1. Florenliste der Fossilfunde

Die Nomenklatur der Sippenamen folgt *Oberdorfer* (1992). Bei den zeitlichen Verbreitungsangaben werden folgende Abkürzungen verwendet: emp = empirisch, rat = rationell, Ku = Kurve, EF = Einzelfunde, EK = Einzelkorn, h = häufig, v = verbreitet, z = zerstreut, s = selten, sek = sekundär, Gi = Gipfel, s. = sehr, Max = Maximum, DA = Diagrammabschnitte, SG = Spätglazial, PG = Postglazial, S = Same(n), Fr = Früchte, FS = Fruchtschuppen, Bl = Blätter, SpÖ = Spaltöffnungen. Die Altersangaben sind in Zonen (Firbas) oder LPZ ausgedrückt. Wenn nicht anders vermerkt, handelt es sich um Pollenfunde. Reihenfolge der Häufigkeiten von hoher zu geringer Häufigkeit: s.h., h., v., z., s., s.s. = EF, EK. Sie sind, sofern es sich um Pollenfunde handelt, den Prozentdiagrammen entnommen (relative Häufigkeiten).

Gehölze:

Abies: emp Ku ab VIb (g1), Max in VIII, vor VIb EF

Acer: emp Ku ab IV, Max in VI/VII, ab VIII/IX s

Aesculus: EK in Xb

Alnus: emp Ku ab IV, rat Ku ab VI (g1), ab VII s.h.; Holz

Alnus glutinosa: S z VIb, VIII, IX, Holz z ab VII

Alnus viridis: nicht überall unterschieden; EF ab VIII

Betula: v-s.h. in allen DA, rat Ku ab Ia (b1), Max in Ib Ende der rat Ku in V, ab VIII/IX wieder häufiger

Betula alba: FS, Fr h Ib-V, dann s

Betula nana: Fr, FS, Bl in Ia-Ib

Betula pendula: FS, Fr Ib bis Ende IV, dann s

Betula pubescens: FS, Fr Ib bis Ende IV

Buxus: EF ab VI (g1) bis Anfang Xb

Carpinus: EF ab VII, emp Ku ab IX (k5), Max (10%) in IX (h3) Ende der emp Ku in Xa (nach k6), dann z

Castanea: EF ab IX (k5), emp Ku in Xa, dann s

Cornus: EF Ib-Xa

Cornus mas: EK VIII/IX

Cornus sanguinea: EK VII

Corylus: emp Ku ab IV, rat Ku ab IVb (e4), Max (70%) in V, ab Mitte VI unter 20%, 2 sek Gi (VII, k1, VIII, k2), dann 5–10%, Ende der rat Ku in X

Crataegus: EK IV

Daphne: EK Anfang VIII

Ephedra dystachia-T.: v Ia (a3-b1), dann EF, PG s.s.

Ephedra fragilis-T.: SG wie *E.dyst.* PG EK bis V

Euonymus: EK VII

Fagus: emp Ku ab VI (g2), rat Ku ab VII (g3), dann bis 40% in 5± langen Dominanzphasen, ab X seltener

Frangula: EF ab IV (III), v ab V, h in VI, s Mitte VII, h Ende VII bis VIII, s Ende VIII bis Mitte IX, Mitte IX v, dann z

Fraxinus: EF ab IV/V, emp Ku ab V, rat Ku Anfang VI, Max VI (g1) bis VII (g3), Abfall g3/k1, Ende der rat Ku VIII/IX, s Xa, v Xb

Hedera: emp Ku ab IV/V, Max in VI, Ende der emp Ku Anfang VIII, dann s.s.

Hippophaë: EF Ia, emp Ku ab b1, Max Ib (unter 5%), v bis Anfang IV, dann s.s. (X!)

Ilex: EF V-IX

Juglans: emp Ku ab IX (k5), Max in X (k6-8)

Juniperus: v in allen DA, Max in Ib (70%), sek Gi Ic, III und Xa, SpÖ in SG

Ligustrum: EF VII-Xb

Lonicera: EF V, VI, IX

Myricaria-T.: v Ia-b (b1-c2): Ein feinreticulater Pollentyp, bei dem es sich möglicherweise um *Myricaria germanica* handeln könnte.

Picea: EF in SG, v ab V/VI, emp Ku ab VIb, rat Ku (5%) ab Xb(k7)
Pinus: v in allen DA, Max in II, III, IVa, seltener Vb-IX, dann zunehmend, sek. Gi Xb, BI II-IV, SpÖ II-IV, Xb
Pinus cembra: i.d.R. nicht unterschieden; EK V
Pinus sylvestris: Borke, KnS, BI, S II-Va
Populus: h Mitte II - IV, sonst s
Populus cf. tremula: Blüte s Ib-V
Pyrus-Prunus-T.: EF Ib und PG, v X
Quercus: EF in SG, emp Ku ab IV, rat Ku ab V, Abfall Mitte VIII - Mitte IX, Max IX (k5), seltener ab Xb, KnS EF V/VI
Rhamnus: Vorkommen wie *Frangula*, aber seltener
Rubus: EF VII/VIII, IX
Rubus idaeus: S EK VI (g2)
Salix: v in allen DA, Max in I, Ende der emp Ku V, sek Gi Xb, Zweige, KnS s Ia-VIII
Sambucus: EF ab V, z VII
Sorbus: EK VII, S EK V
Taxus: EF ab V, v VI (g1) bis VII (k1) und VIII (k3), dann s.s letzter Nachweis Xa
Tilia: emp Ku ab IVb, zuvor s.s, rat Ku, zugleich Max VIb - VII (g2), h VII, v VIII, EF ab IX, v Xb
Ulmus: emp Ku ab III/IV, zuvor EF, rat Ku Ende IV, Max VI, Abfall VII(g3/k1) (Ende der rat Ku, weiterer Abfall k1-h2, Ende der emp Ku IX(h3), Wiederbeginn Xa
Viburnum: EF in allen DA ab II
Viscum: EK in II, z ab IV, v Vb-VI/VII, EF bis IX
Vitis: EF ab VI, z VII bis Mitte IX, dann s, z X; die Artunterscheidung war nicht möglich, doch ist zu vermuten, dass es sich bei den Funden bis IX um *Vitis sylvestris* und ab dann um *V. vinifera* handelt.

Krautige Pflanzen:

Aconitum-T.: z Ia(a4-b1) - Mitte II, sonst s.s
Aconitum sp.: S EK VI
Alchemilla: EF I-II
Allium: EF Ia, z VII, EF V-Xa; Max in den neolithischen Rodungsphasen, als offenbar Waldbodenpflanzen in den gelichteten Wäldern optimal gediehen;
Anagallis: EK IX(k5)
Anemone-T.: EF in allen DA
Anthericum-T.: EF in allen DA
 Apiaceae: z in allen DA, emp Ku Ia(b1) - V und ab IX(k5), h X
Arctium-T.: EK VIII
Armeria-T. (= Plumbaginaceae): EF Ia, Ia/b, Ic
Artemisia: emp Ku in allen DA, rat Ku Ia, sek Gi Ic, III, VIII/IX und X
 Asteraceae: z-v in allen DA, h Ia(a3)-Ic, Xb
 Boraginaceae: EK X
 Brassicaceae: z in allen DA, h Ia, Xb
Bryonia: EK IX
Bupleurum-T.: Ef Ia, Ib, III, VII-X
Calluna: EF Ib, VII-X, v k4/5
Caltha-T.: z in allen DA, etwas häufiger VII, IX, X
Calystegia: EK IX
 Campanulaceae: EF in allen DA, vermehrt in Ib
Carex: EF v. Fr in allen DA
Carex cf. elata: Fr s VIII-IX
Carex fusca: Fr EF VIII
C. Pseudocyperus: Fr EK Ende VIII
C. vesicaria: Fr. EF VIII-IX
 Caryophyllaceae: h Ia-Ib(c1), EF in allen DA
Carduus-T.: EK Ia

Centaurea cyanus: z IX(k5)-Xb
Centaurea jacea-T.: EF in allen DA ab Ia(b1)
Centaurea montana: EK Ia(b2)
Cerealia: emp Ku ab VII(k1), Lücke in VIII(h2), h Xa, Max Beginn und Ende Xb
Cerastium-T.: EF Ia(a4) und III
Chenopodiaceae: h Ia, v III und Xb, sonst s
Chrysosplenium: EK IX
Cichoriaceae: h Ia(a4) und X, sonst s-z
Cicuta virosa: S EF IX
Circaea: EF IV, IX, Xa
Cirsium-T.: EK VIII
Convolvulus: EK Xa
Cynoglossum: EK Xb
Cyperaceae: v-h in allen DA
Dipsacaceae: s in allen DA
Drosera: EK VII/VIII (Nu 4)
Dryas octopetala: BI EF Ende Ia
Echium: EF Ia, Ic, V, IX, Xa
Epilobium: EF II, VII, IX, Xb
Ericaceae: s in allen DA
Eriophorum: Sklerenchymspindeln VII-IX (Nu 4)
Euphorbia: EF V-X
Euphrasia: EK X
Fabaceae: s in allen DA, h VIII; Das massenhafte Auftreten in k1 (v.a. Nu 7) ist überwiegend auf einen feinreticulaten, nicht näher identifizierten Typ zurückzuführen. Entsprechung mit *Hypericum*-Typ von (140) wäre denkbar.
Filipendula: z in allen DA, h II-IV und Xb
Galium sp.: S EK VIII
Gentiana: EF Ia-c
Gentianella: EK VII/VIII (Nu 4, ob *G. utriculosa*?)
Geranium: EF Ia, II, VII
Geum-T.: s-z in allen DA
Gypsophila-T.: z Ia, sonst s.s
Helianthemum: s.h Ia, v Ib, III, sonst s.s
Heracleum: EF Ib, III, IX, Xb
Herniaria-T.: EF III, VIII, IX, Xa
Humulus/Cannabis: s.s ab Ib, z ab VII, emp Ku ab Ende IX, rat Ku Anfang Xa, Max (60%) Xa, Xb 5%, k9 unter 2%
Hypericum-T.: h Xb, sonst s
Jasione: EF VII, IX, Xb
Lamiaceae: s PG
Lathyrus-T.: EF VII-IX
Ligusticum: EK Ib
Liliaceae: EF Ia, Xb (vgl. *Anthericum*-T., *Narthecium*-T.)
Linum: EF Ia, VI, VII, IX, Xa
Lobelia-T.: EK Ia (a4)
Lotus: EF Ia-III, VII-IX
Lychnis-T.: EK Ia
Lysimachia: EF II, IX, Xa
Lythrum: EF VI-Xb
Malvaceae: EK IX
Melampyrum: EF II, VII-IX
Mentha-T.: s ab Ia(a4), z V-X
Mercurialis: z V-VIII, s IX-Xb
Narthecium-T.: EF lab, Xab (dort vielleicht *Asparagus officinalis* als Kulturpflanze)
Nicotiana: EK Xb

Onobrychis-T.: s Ib, VII, IX, z Xb
Ononis-T.: EF Ib, VIII, Xa
 Orchidaceae: EK Xa
Orlaya grandiflora: EF IX, Xb
Oxalis: EF Ia, VII, IX, Xb
 Papaveraceae: EF Ia-II, VIII, X
Plantago alpina: z Ia-III, s IV
Plantago lanceolata: EF ab VII, emp Ku ab k1, h IX, Max Xa, in Xb Abfall auf die Hälfte
Plantago m.-T.: z in allen DA, emp Ku Ia(b1)-Ib, v III, s IV-VIII, v ab IX, h Xb
Pleurospermum-T.: z Ibc, s III, VII
Polygala: EF II, III, VIII, IX
 Poaceae: v bis s.h in allen DA, S EK IV
Polycnemum: EF VII, IX, Xa
Polygonum alpinum: EK VI
Polygonum amphibium: EF Ib, Xb
Polygonum aviculare: z VIII-Xb
Polygonum convolvulus-T.: EF IV, Xa
Polygonum persicaria: EF Xa
Polygonum viviparum: EF Ic, IX, Xa
Potentilla-T.: in allen DA, v VII/VIII, Xa, Nu 4: Max VII und IX
 Primulaceae: s lab, III, V-IX
Prunella-T.: EF lab, V
Pulsatilla-T.: EK Ib
 Ranunculaceae: z-v in allen DA
Rhinanthus-T.: s Ic, II, IV, VII, IX
 Rosaceae: z in allen DA
 Rubiaceae: z in allen DA, v SG und Xb
Rumex: v in allen DA, h SG und IX-X
Sagina: EK VIII
Sanguisorba minor: s Ia-II, V, VII-IX, z X
Sanguisorba officinalis: s Ia-IX
Saxifraga oppositifolia-T.: z lab, s II-IV, EK VIII
Scheuchzeria: EK Ib
Scilla: EK VII
 Scrophulariaceae: s in allen DA
Secale: z ab IX(k5), emp Ku ab k6
Solanum dulcamara: EF VII-IX
Spergularia arvensis: EK IX
Stachys-T.: EF V, VII
Symphytum: EF III, IX, Xb
Teucrium: EK IX
Thalictrum: v Ia(b1)-Ic, z bis Mitte II und III, sonst s
Thlaspi arvense: S EK VIII
Tofieldia: EF Ia, Ib; Der Nachweis dieser Gattung war für Ia im Bodenseegebiet erwartet worden (88), doch ist er jetzt erstmals gelungen.
Trifolium: s VIII, IX, h Xb (k8)
Trollius: EF Ia, IX
Urtica: v in allen DA, emp Ku ab IX (k4), Max X
Vaccinium: EF VII, Xab
Valeriana: s Ia, Ib, III-X
Valerianella: EF Ib, III, Xa
Veronica-T.: EF VII-Xa
Vicia: EK VIII
Viola sp.: Fruchtknoten (1) V
Viola palustris: EF V, VII-IX
Zea mays: EF Xb(k9)

Wasserpflanzen:

Alisma: EF IX (Pollen im jüngeren PG vermutlich s bis z, da teilweise mit Caryophyllaceae oder *Thalictrum* verwechselt)
Butomus: EK VII
Ceratophyllum sp.: S z Ia, IV/V (Nu 4)
Cladium: z V-Xb, Fr ab V/VI
Hippuris: EK VII
Hydrocotyle: EF IV
Iris pseudacorus: EF VI (Nu 4)
Menyanthes trifoliata: s VII-Xa, S EK III/IV (Nu 4), z ab VI (Nu 10)
Myriophyllum alterniflorum: s Ibc, V-VII, IX-Xa; die späten Funde sind überraschend und bedürfen einer Überprüfung.
Myriophyllum verticillatum/spicatum: s ab Ia, z-v V-Xb, in Nu 6 Max (30%) Xa
Najas marina: S Vb-VI/VIII, EK Mitte VIII
Nuphar: EK Ic, s V-Xb, *N. lutea*: S s ab VI
Nymphaea: z IV-Xb, vegetativ z PG
Nymphaea alba: S z ab IV
Potamogeton: z-v in allen DA, h a3, s.h b1, v V/VI-VIII, z bis Xb
P. filiformis: S EK Ia/b (Nu 4)
Potamogeton cf. *alpinus*: 1 Steinkern in b2
P. pusillus: S EK IV (Nu 4)
P. trichoides: S EK Ende IV (Nu 4)
Potamogeton cf. *natans*: Steinkerne z PG
Ranunculus sect. *Batrachium*: S EK II/III
Sagittaria: EK IV
Schoenoplectus: S s ab V, h ab Ende VI
Sparganium: z in allen DA
Sparganium ramosum: S VII/VIII (Nu 10)
Stratiotes: EK Xb (k8)
Trapa: EK VI, EK VII
Typha: s SG, v V-Xb
Utricularia: EF V-VII, IX, S EF Ia-Ib (Nu 10)

Farne und Moose:

Allosurus crispus: EK Ia
Athyrium: s V-X
Botrychium: z Ia-c, III
Dryopteris: s Ic-Xa
Lycopodium: EF IX
Lycopodium alpinum: EK Ia
Lycopodium annotinum: EF IX
Lycopodium clavatum: EF Ia, VII
Ophioglossum: EK VIII
Polypodiaceae: s Ia-c, z II-III, emp Ku ab IV, Max (bis 90%) ab VII
Polypodium vulgare: EK Ia, s V-IX, v VI/VII
Pteridium: EK Ic, z IV-Xb, v VIII
Selaginella sp.: Megaspore Ende Ia (Nu 4)
Selaginella selaginoides: h Ia, Ic, v Ib, III, s.s II, VI, VII, IX
Thelypteris palustris: v IV-Xb
Campylium stellatum: VI/VII (Nu 4, ganze Pfl.)
Drepanocladus sp.: z Ia/b (Nu 4)
Meesea triquetra: VI/VII (Nu 4, ganze Pfl.)
Sphagnum: s in allen DA, h Mitte II-III, z VII (Nu 4)

Algen:

Characeae: Oogonien s Nu 4, Nu 10 s bis VIa, dann s.h

8.2. Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabellen

Nr.	Titel	Seite
1	Ausmasse der Nussbaumer Seen	11
2	Vegetationsaufnahmen zweier Waldbestände in Seenähe	15
3	Verzeichnis der Abkürzungen im Text	19
4	Radiocarbonaten von den Nussbaumer Seen	44
5	Die Phasen der Vegetationsentwicklung ...	48
6	Räumliche und zeitliche Ausdehnung der 10 Hauptprofile	51
7	Sedimentationsraten der limnischen Profile Nu 6, 7 und 8 seit der Römerzeit	89
8	Übersicht über die Landschaftsgeschichte der letzten 16 000 Jahre	94

Abbildungen

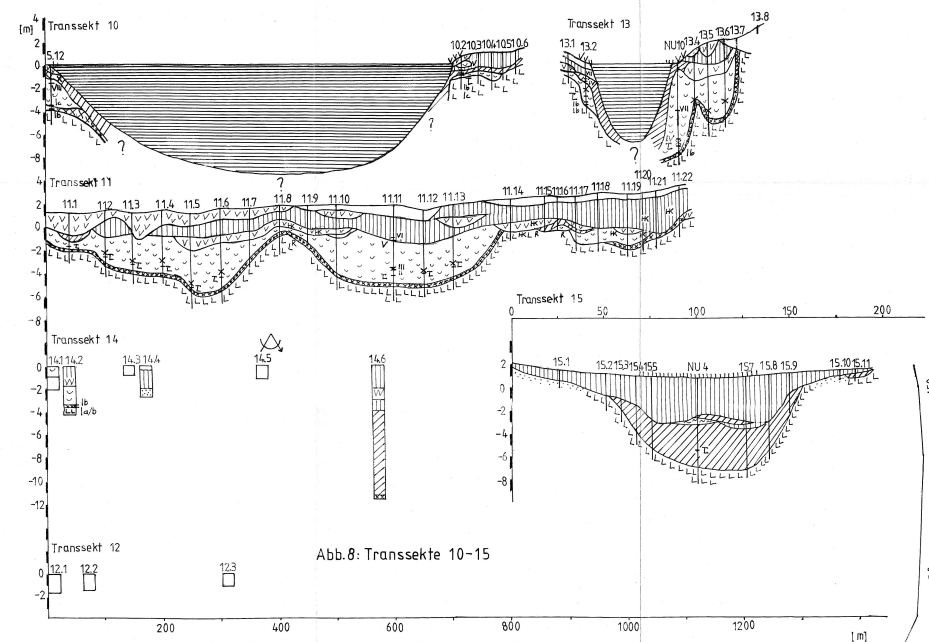
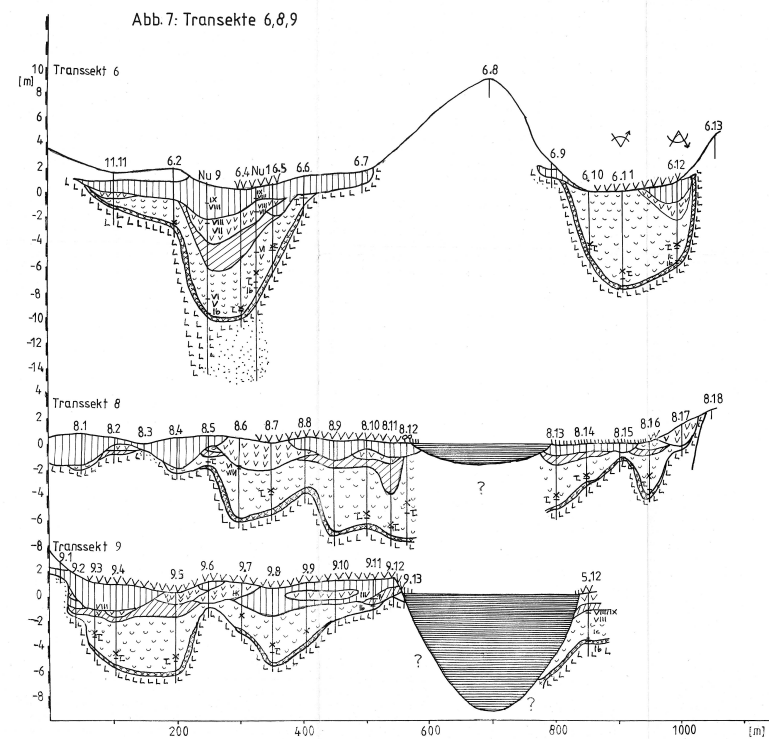
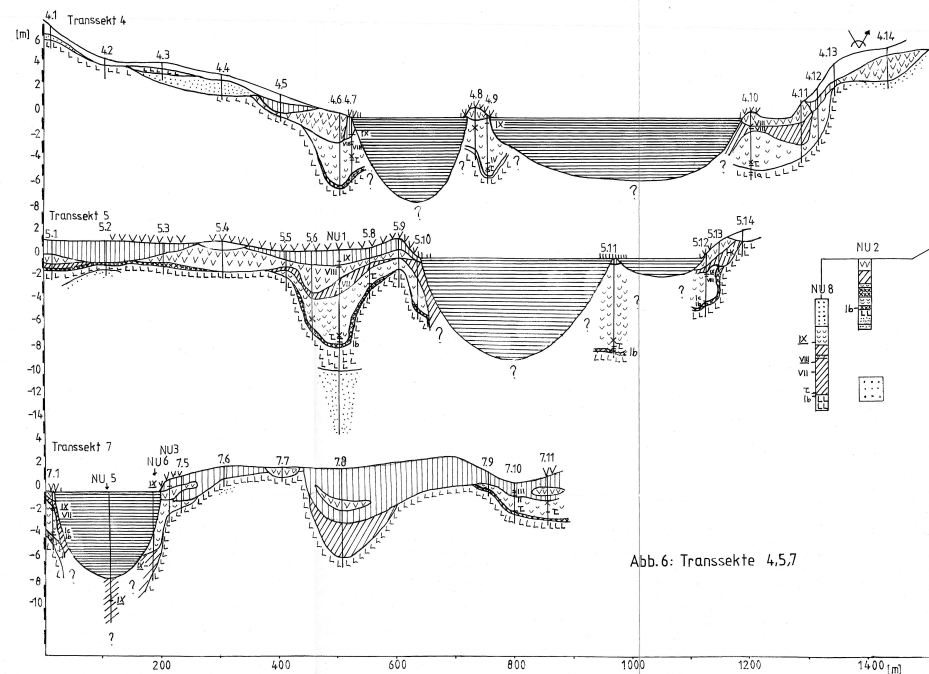
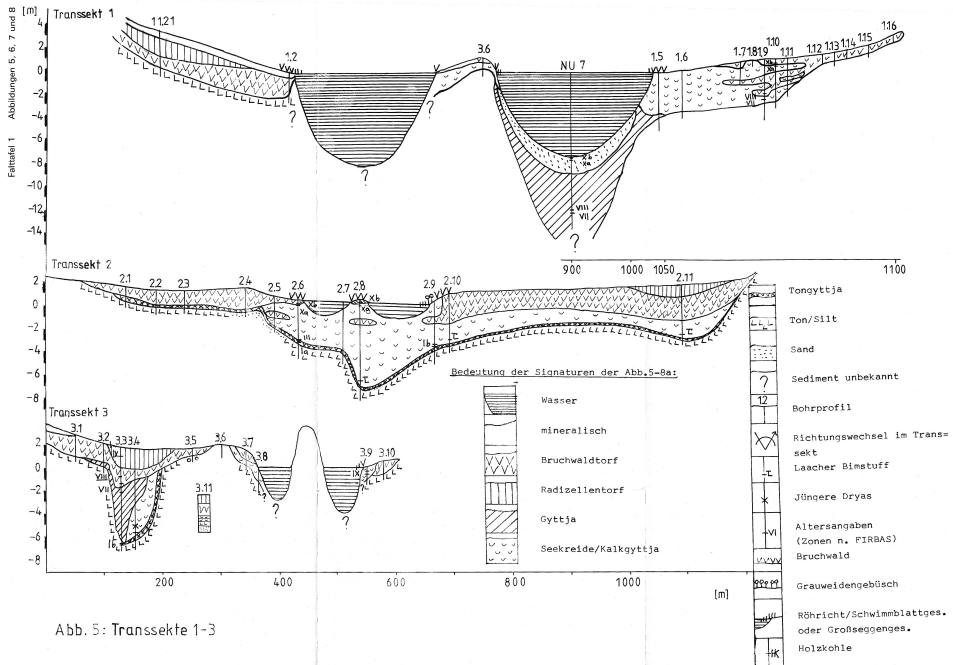
Nr.	Titel	Seite
1	Lage der Nussbaumer Seen	10
2	Klimadiagramm von Frauenfeld	13
3	Vegetationskarte der Nussbaumer Seen und ihrer Umgebung	14
4	Bedeutung der Signaturen in den Pollendiagrammen	20
5	Die Transsekte 1–3	Beilage
6	Die Transsekte 4, 5 und 7	Beilage
7	Die Transsekte 6, 8 und 9	Beilage
8	Die Transsekte 10–15	Beilage
9	Pollenkreisdiagramme zu den pollenanalytisch datierten Horizonten der Transsekte	24
10	Lage der Transsekte und Bohrpunkte	Beilage
11	Gestalt der Nussbaumer Seen und deren Änderung	26
12	Räumlich-zeitliche Lage der Radiocarbonaten von Nu 4	53
13	Zeitabhängige Änderung der Sedimentationsraten der Profile Nu 1–10	54
14	Entwicklung der Sedimentmächtigkeiten der Profile Nu 1, 2 und 8	56
15	Sedimentationsraten der Profile Nu 1, 2 und 8 in Abhängigkeit von der Tiefe	56
16	Glühverlust, Kalkgehalt und mineralischer Sedimentanteil von Nu 8	65
17	Gehalt an organischer Substanz, Calcit, Dolomit und Silikat von Sedimentproben aus Nu 8	66
18	Schwermetallkonzentrationen und Phosphatgehalt im Sediment von Nu 8	67
19	Spiegelschwankungen der Nussbaumer Seen während der letzten 16 000 Jahre	72
20	Entwicklung der Sedimentationsraten im Ostbecken des Nussbaumer Sees in den letzten 2000 Jahren	90
21	Pollenprozentdiagramm Nu 1	Beilage
22	Pollenprozentdiagramm Nu 2	Beilage
23	Pollenprozentdiagramm Nu 3	Beilage
24	Pollenprozentdiagramm Nu 4	Beilage
25	Pollenprozentdiagramm Nu 5	Beilage
26	Pollenprozentdiagramm Nu 6	Beilage
27	Pollenprozentdiagramm Nu 7	Beilage
28	Pollenprozentdiagramm Nu 8	Beilage
29	Pollenprozentdiagramm Nu 9	Beilage
30	Pollenprozentdiagramm Nu 10	Beilage
31	Polleninfluxdiagramm Nu 1	Beilage
32	Polleninfluxdiagramm Nu 2	Beilage
33	Polleninfluxdiagramm Nu 8	Beilage

- 34 Vergleich: Prozent-/ Influxdiagramm
- 35 Nu 4 – Grossreste
- 36 Nu 10 – Grossreste
- 37 Nu 2 – Sauerstoffisotopenkurve

Beilage
Beilage
Beilage
Beilage

Anschrift des Verfassers:

Dr. Manfred Rösch
Institut für Ur- und Frühgeschichte
der Universität Freiburg
Fischersteig 9
D-7766 Hemmenhofen



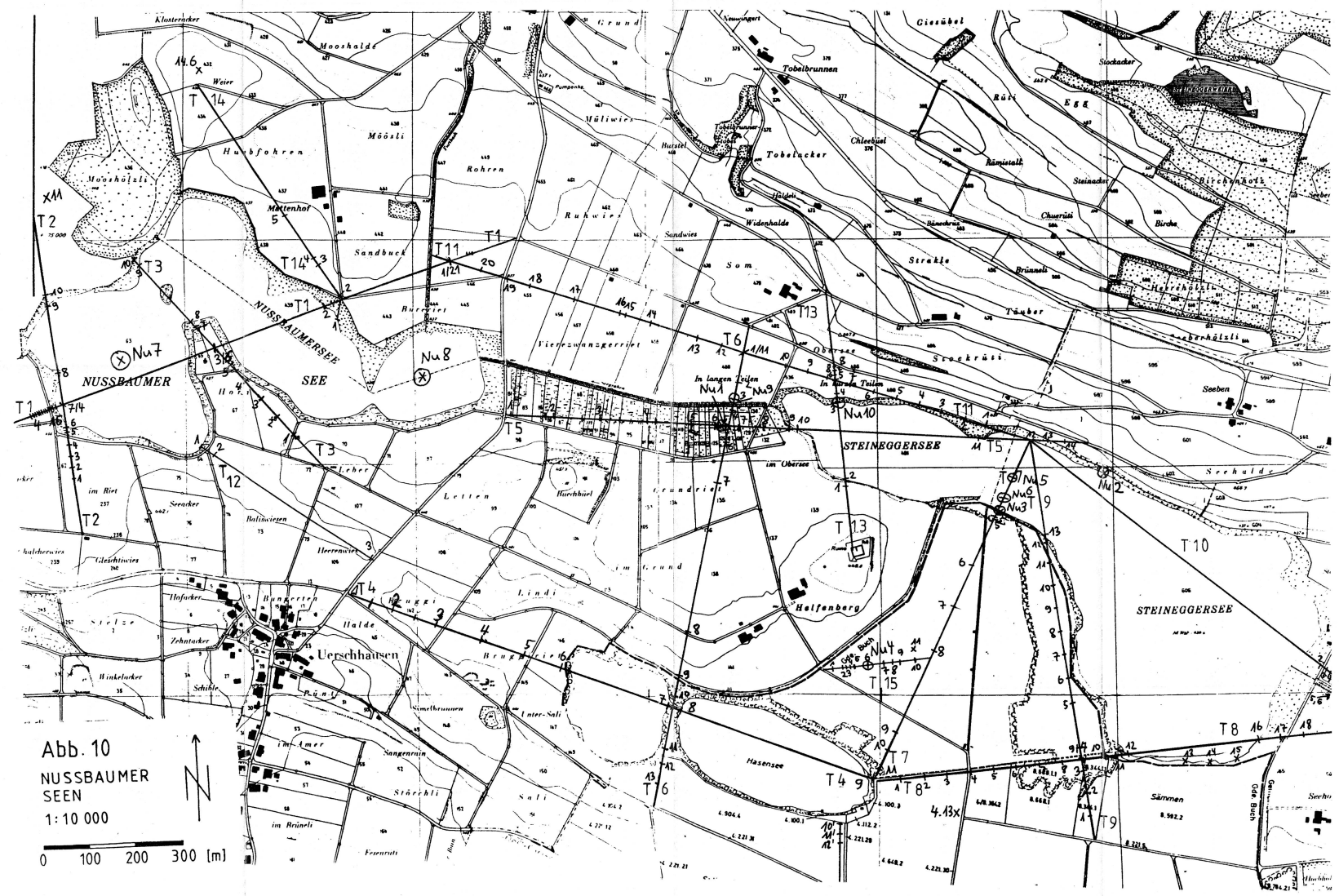
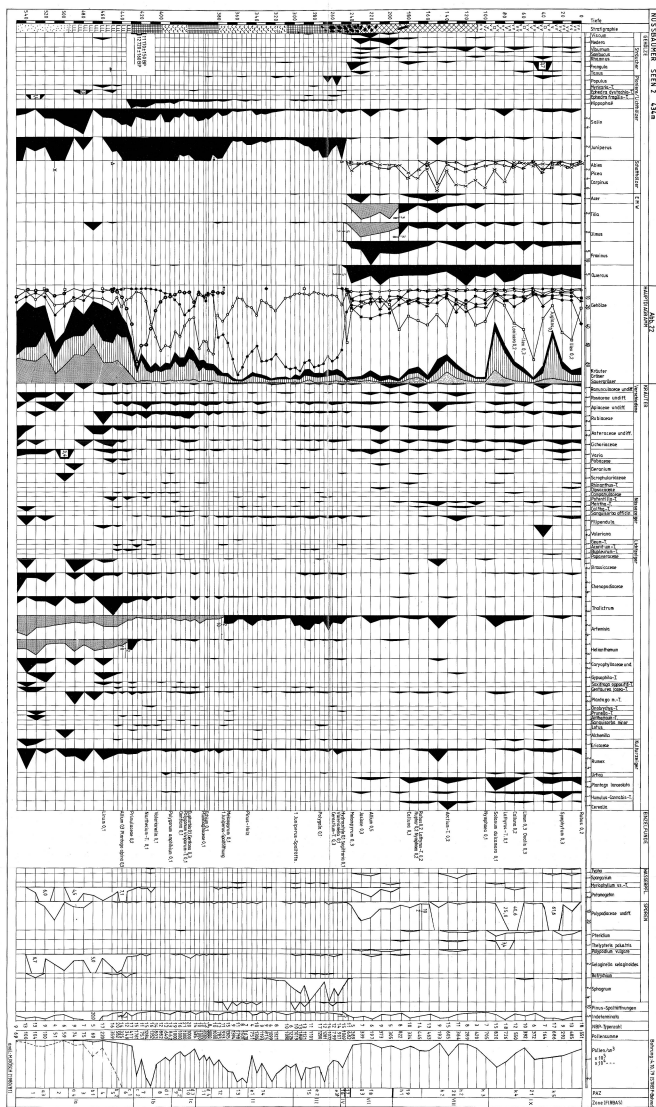
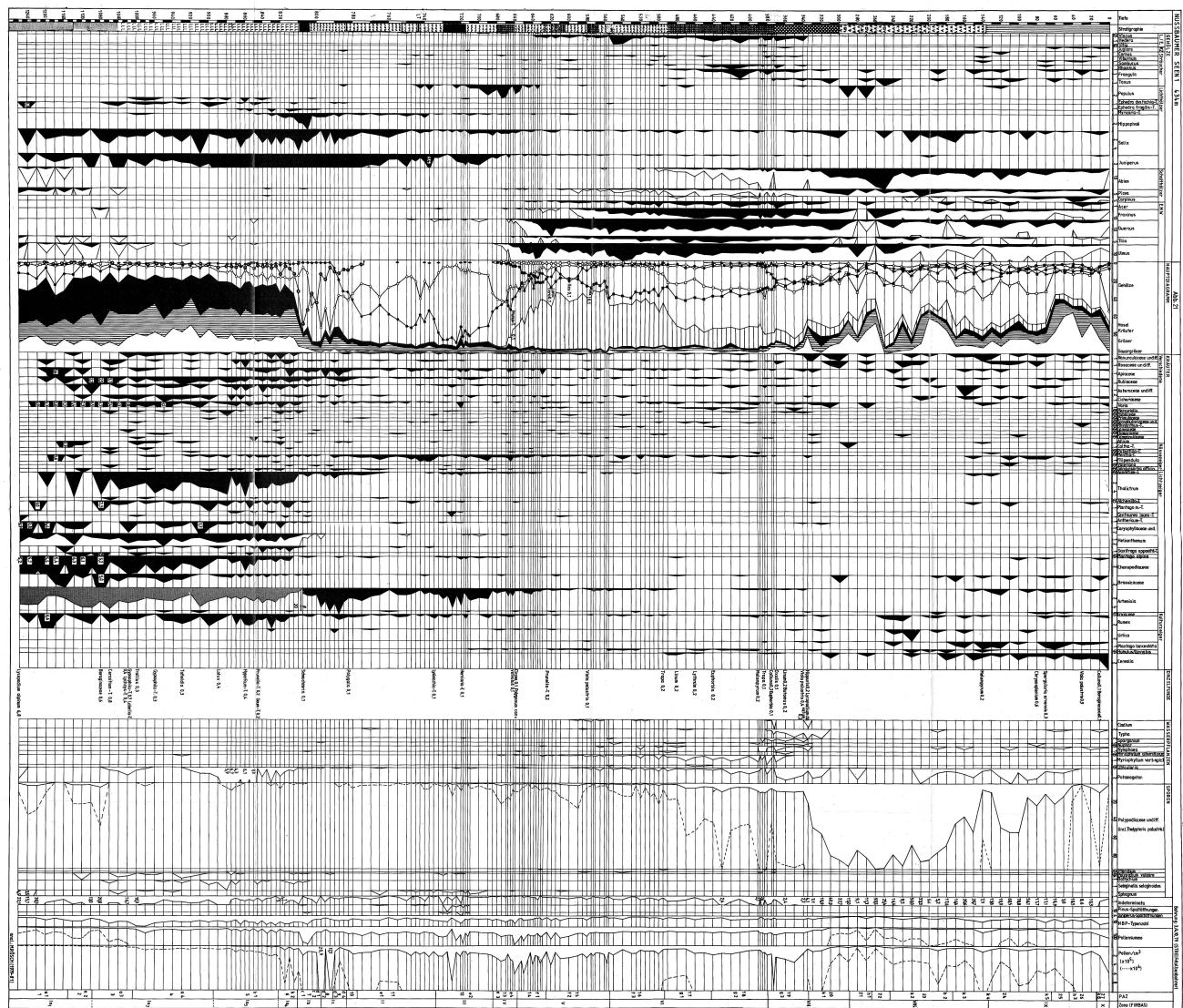
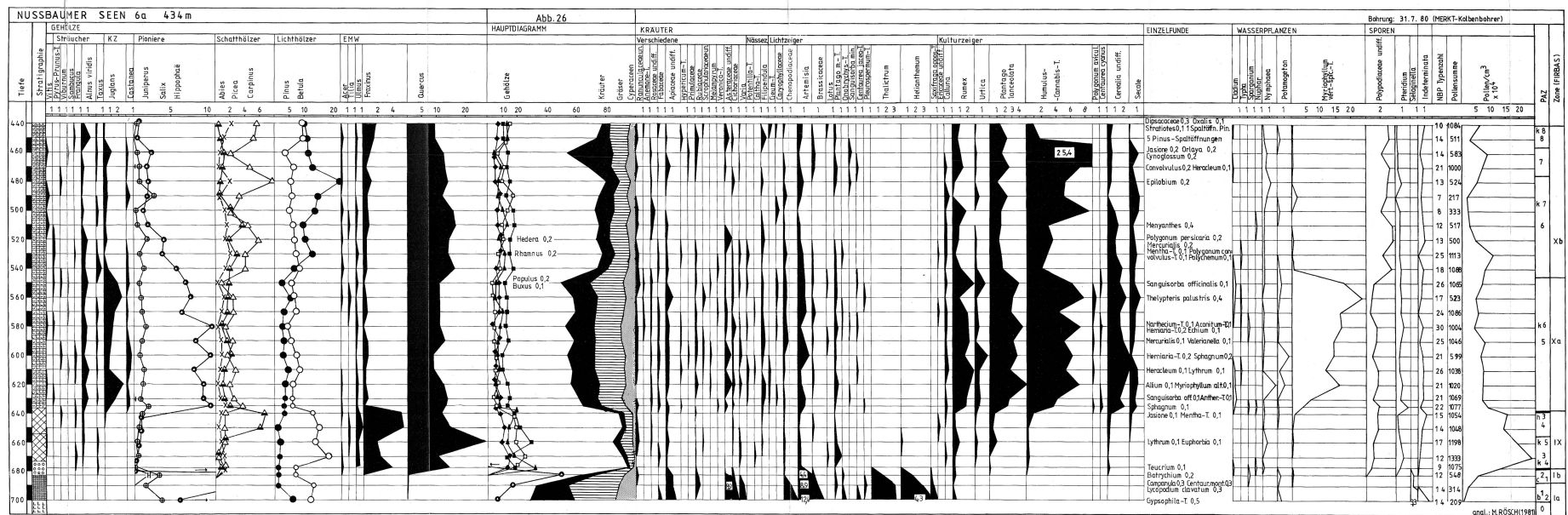
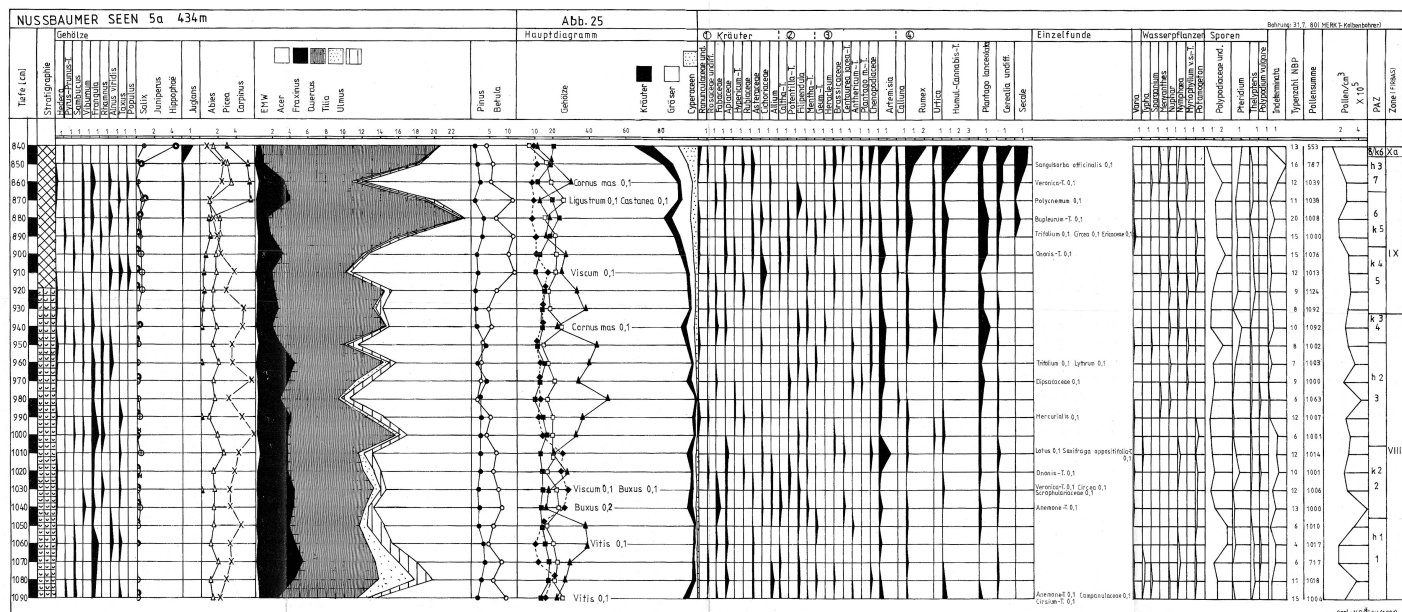
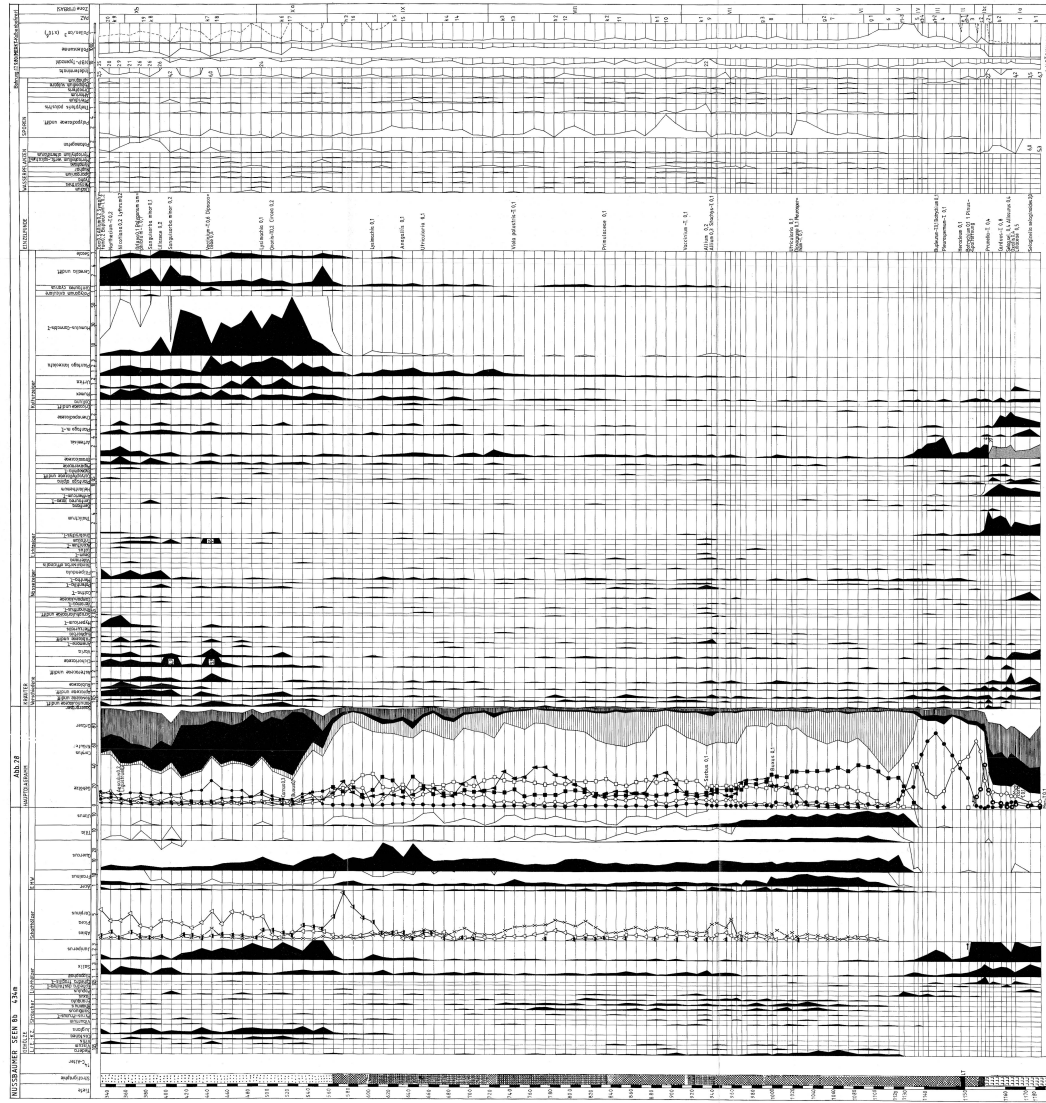
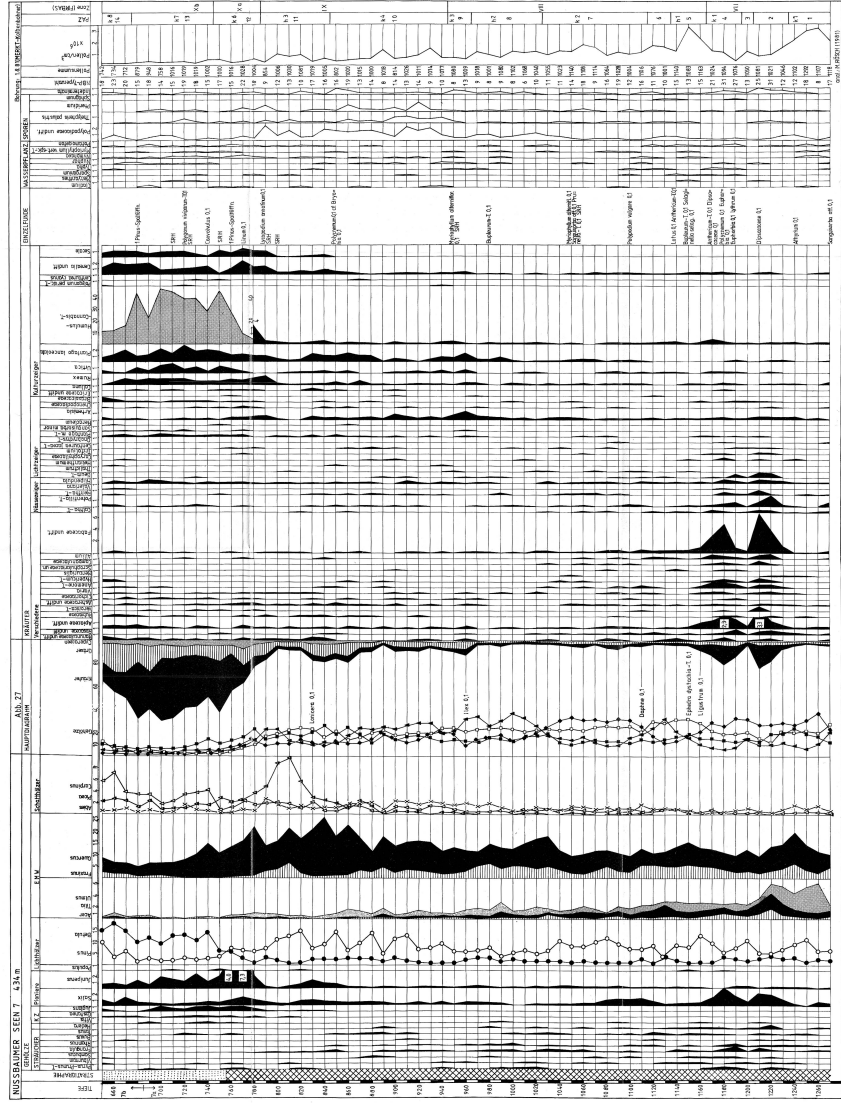


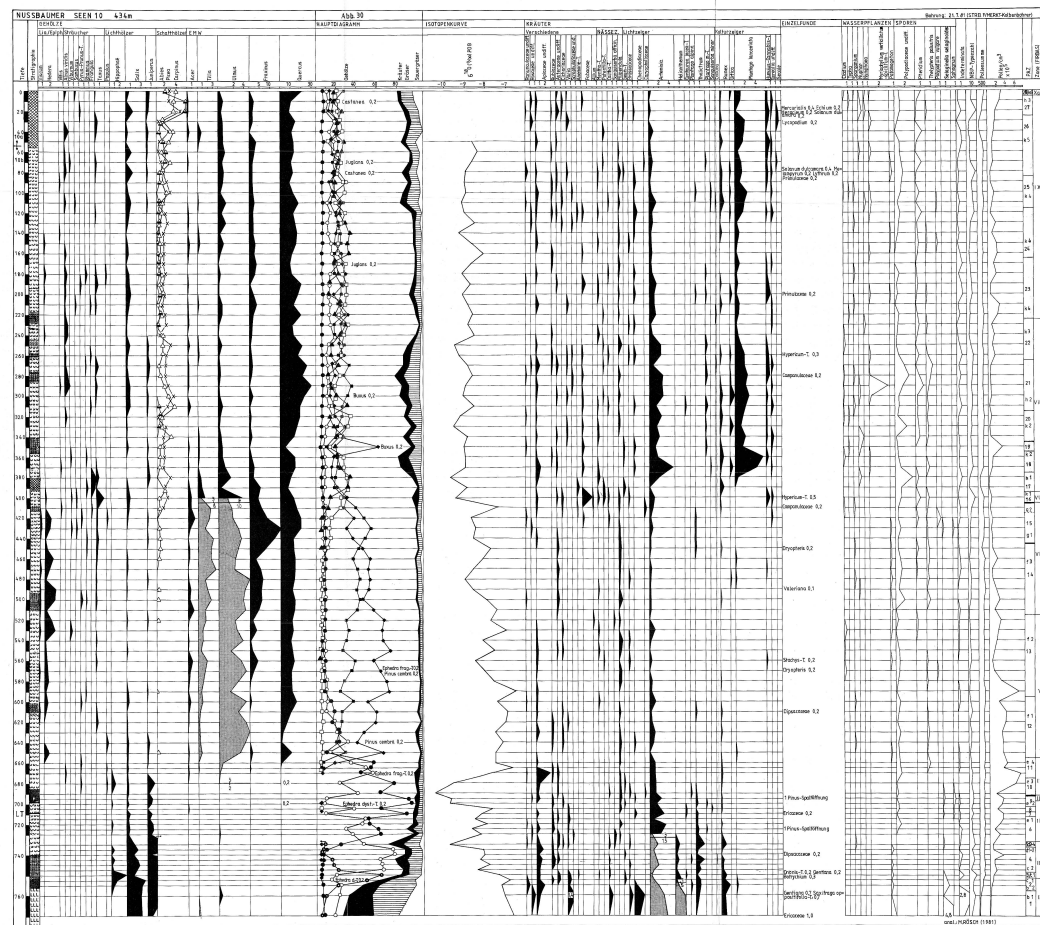
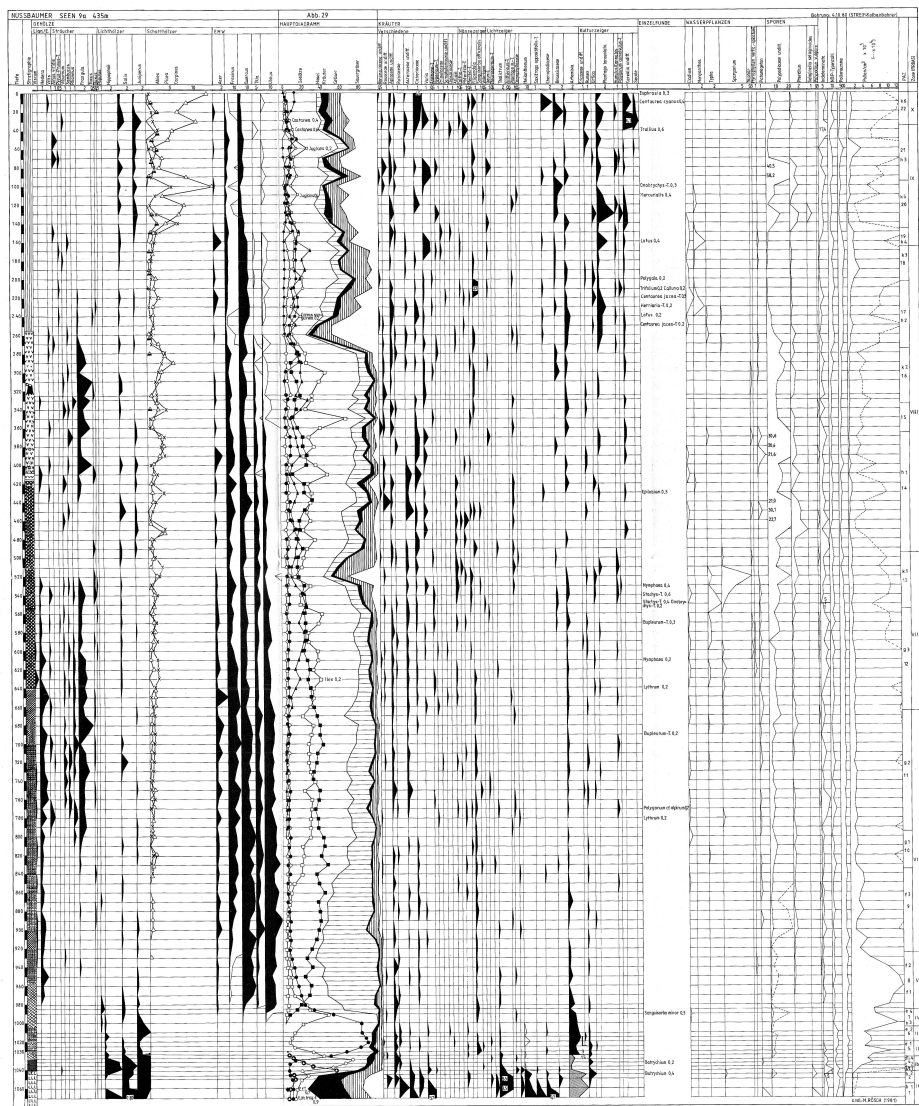
Abb. 10
NUSSBAUMER
SEEN
1:10 000

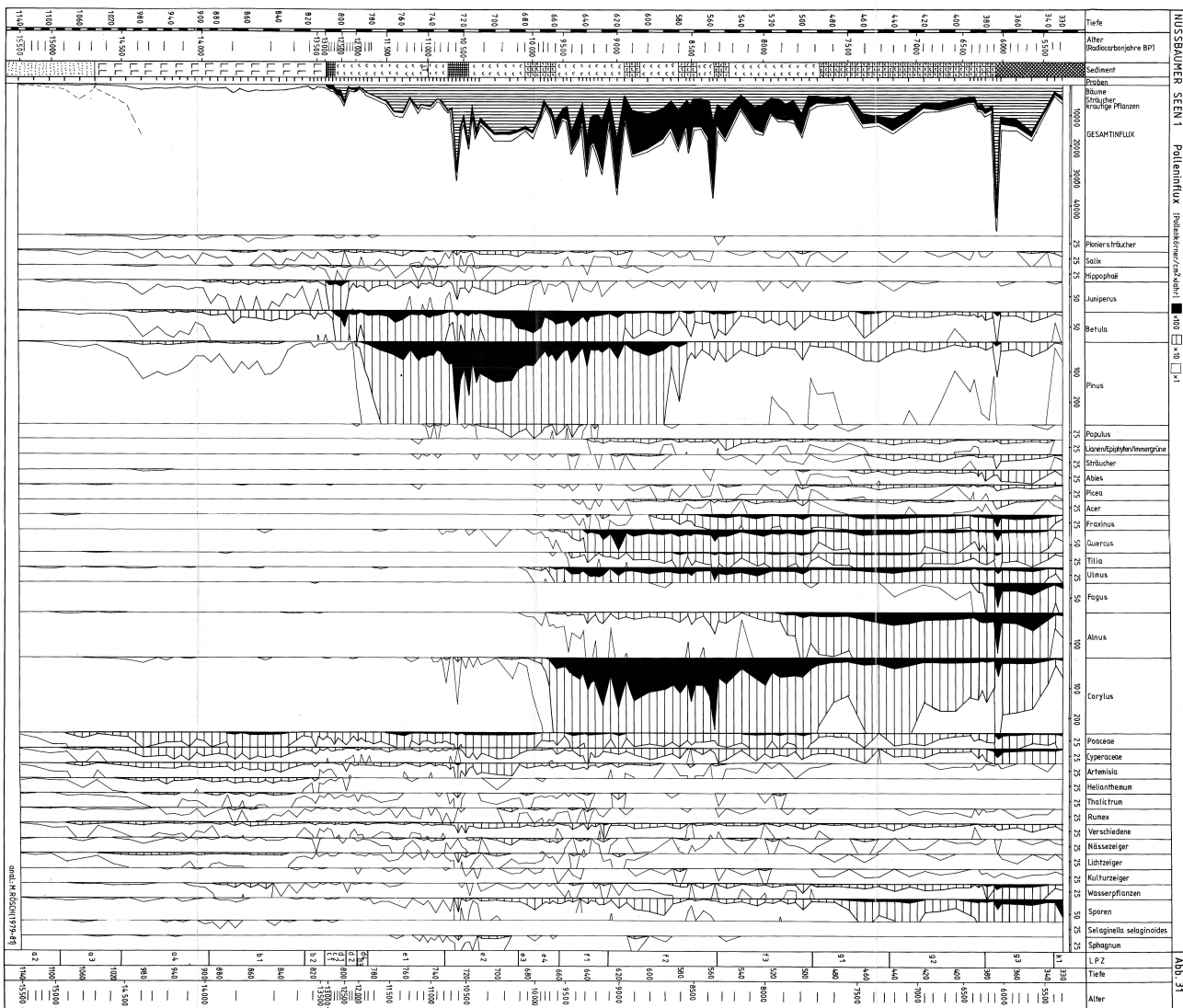
Lage der Transsekte und Bohrpunkte an den Nussbaumer Seen.
Reproduziert mit Bewilligung des Vermessungsamtes des Kantons Thurgau vom 11. April 1983.











54/2627

