

Folgerungen

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft**

Band (Jahr): **45 (1983)**

PDF erstellt am: **19.05.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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).

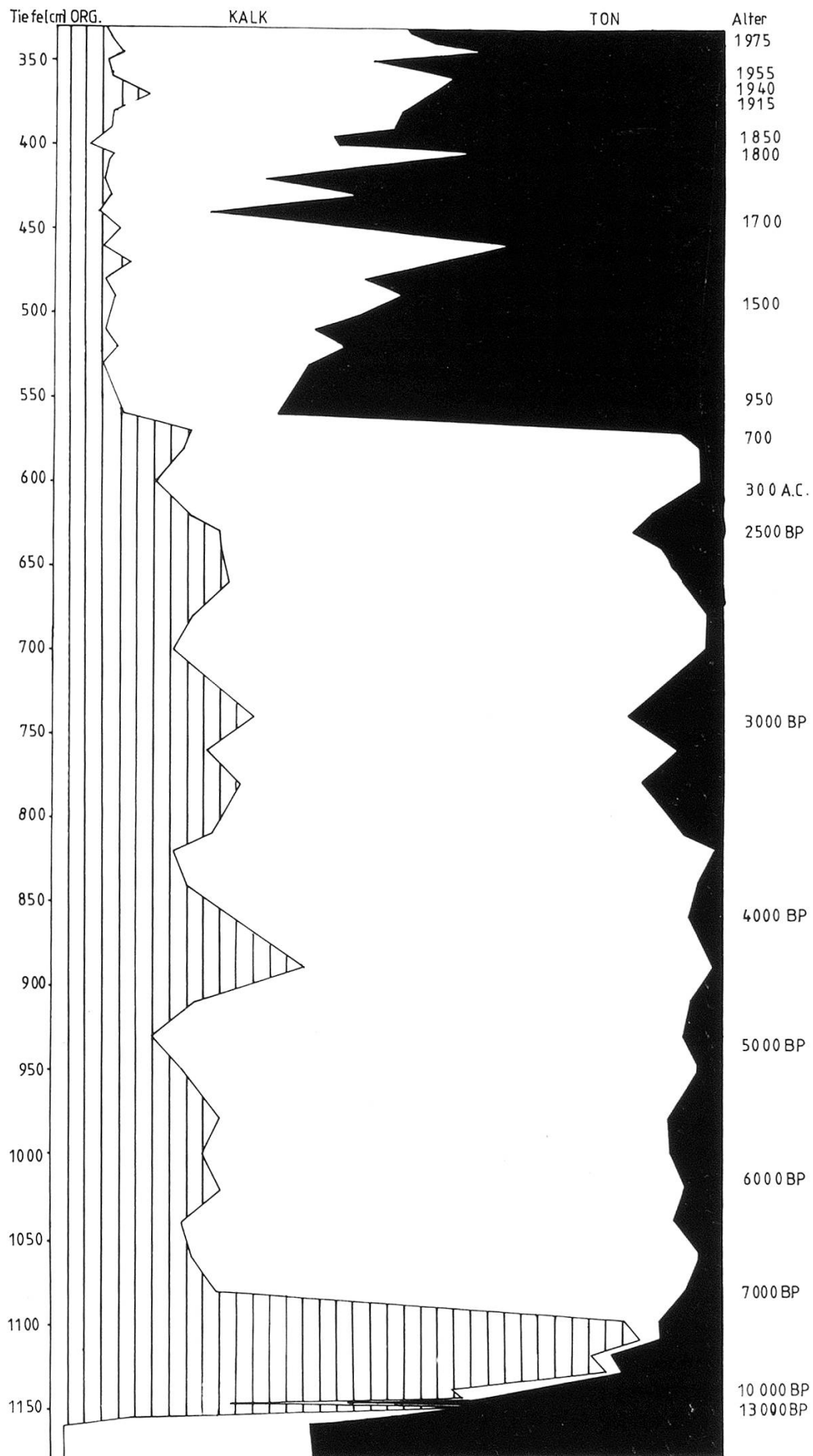


Abbildung 16: Glühverlust, Kalkgehalt und mineralischer Sedimentanteil (Ton) von Nu 8.

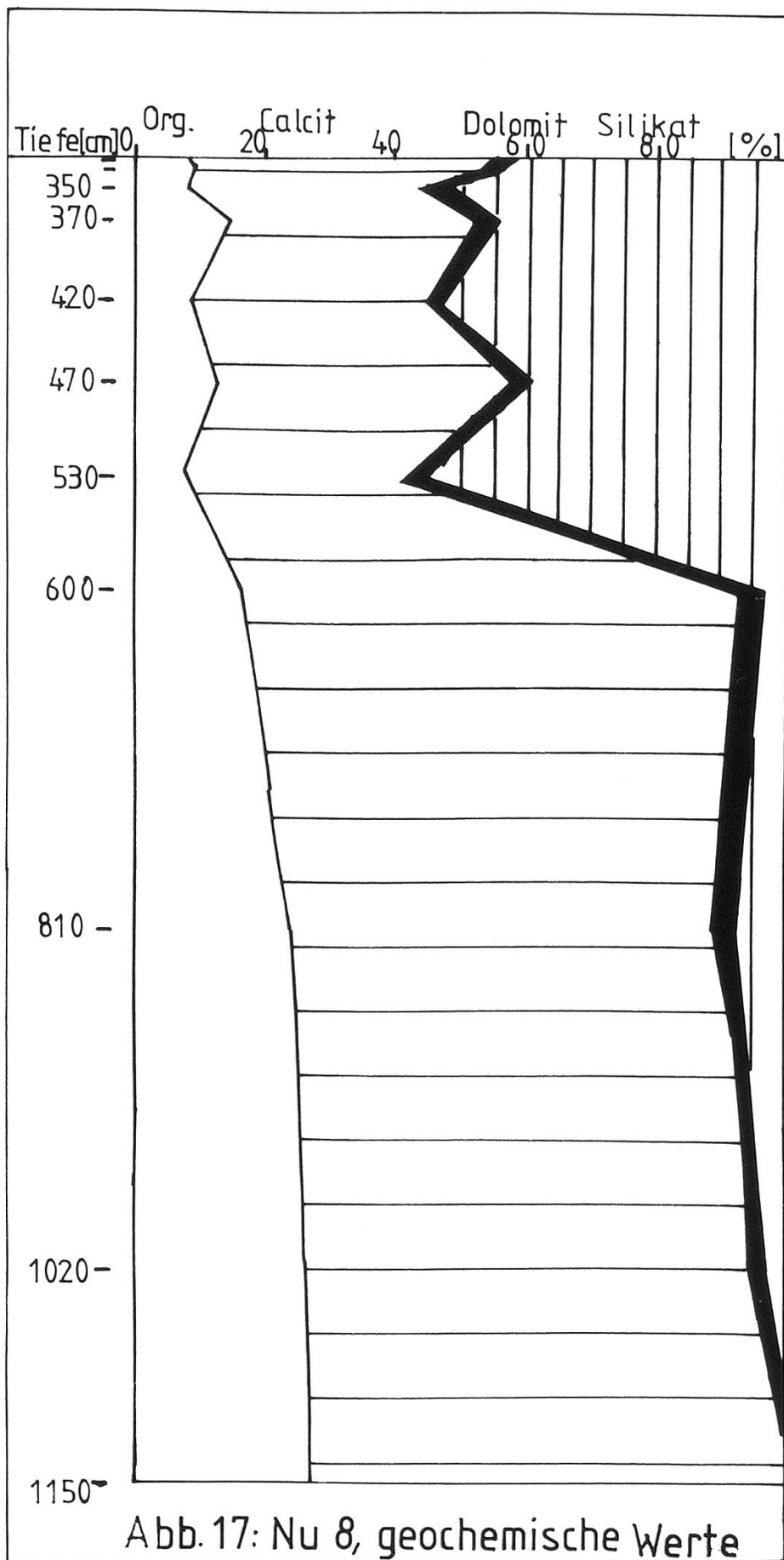


Abbildung 17: Gehalt an organischer Substanz, Calcit, Dolomit und Silikat von Sedimentproben aus Nu 8.

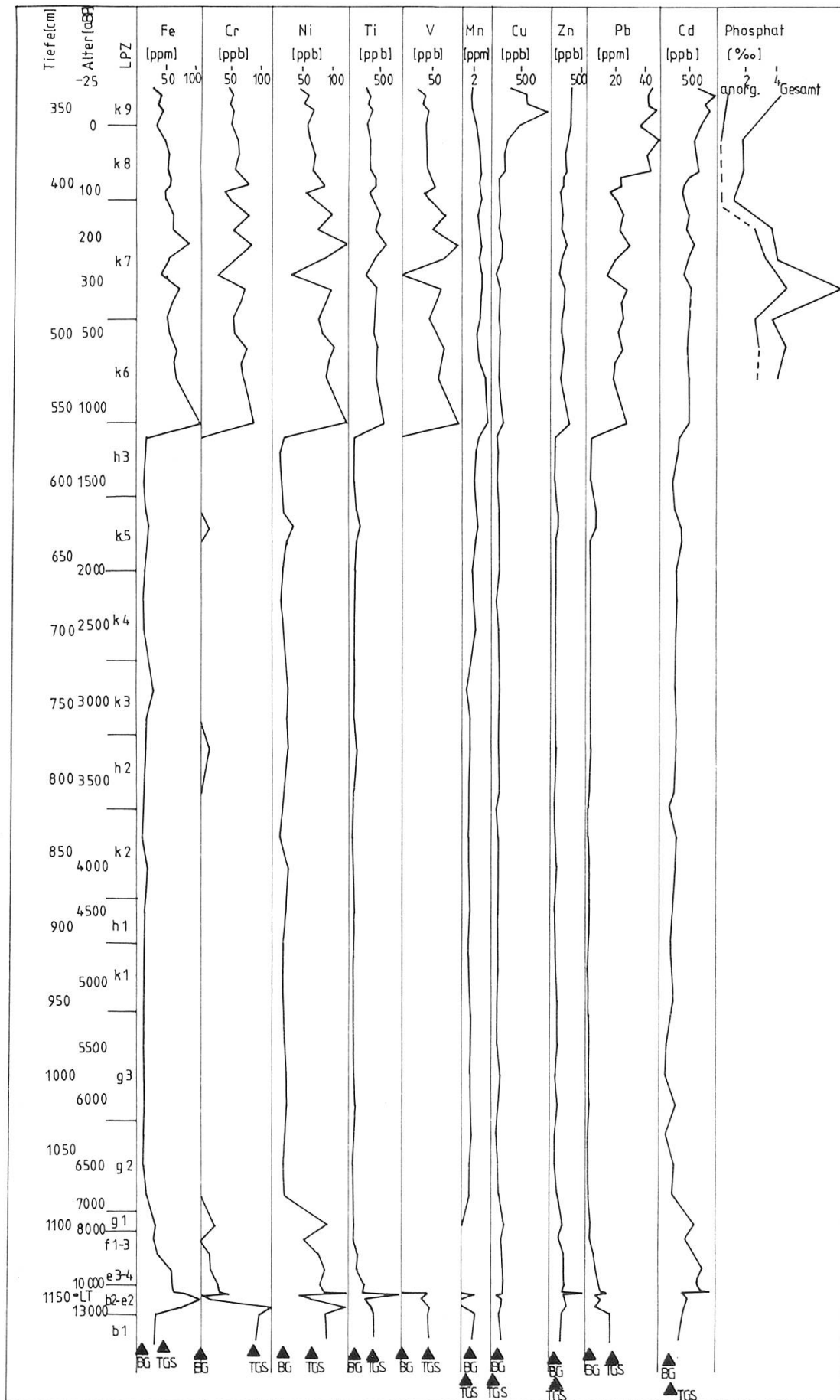


Abbildung 18: Schwermetallkonzentrationen und Phosphatgehalt im Sedi-
ment von Nu 8.

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 14 500 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.

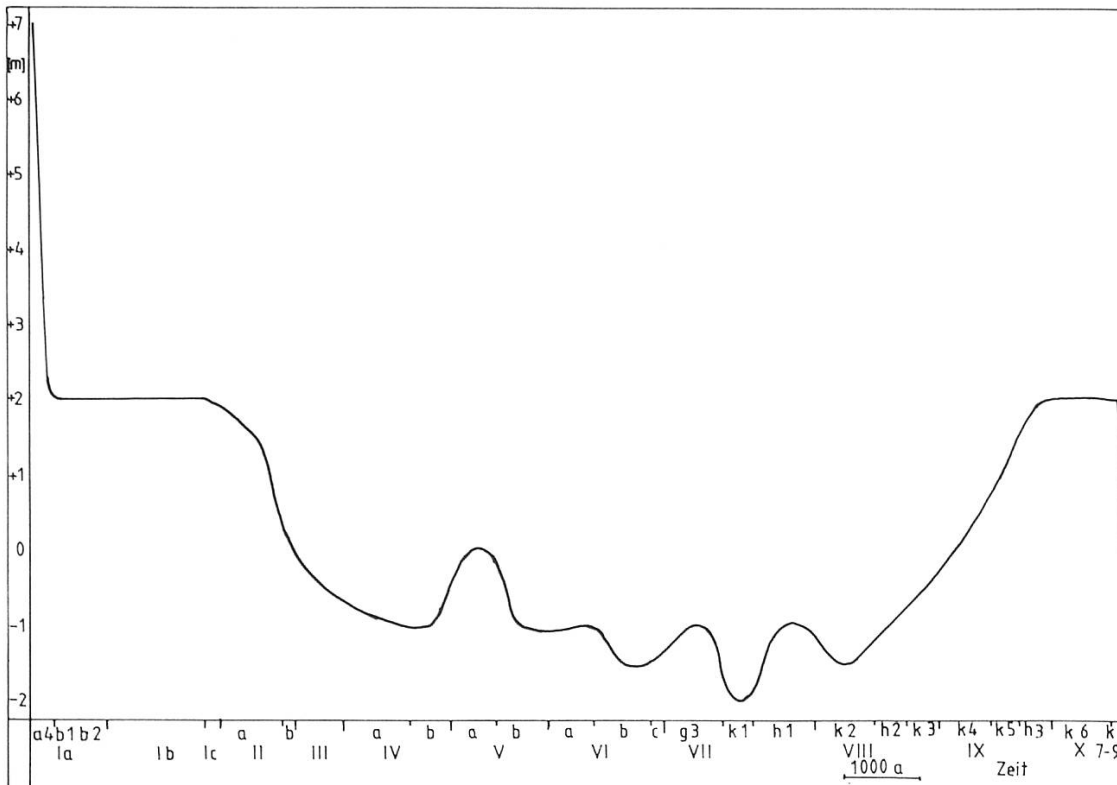
Bei der Untersuchung der Häufigkeit bestimmter Verlandungszeiten wurde la nicht berücksichtigt. Als Verlandung s.str. wird der Übergang von limnischem zu telmatischem Sediment aufgefasst. Dies wurde 4mal für III gefunden, 3mal für V, 2mal für VIb, 8mal für VII, 4mal für VIII und 3mal für Xb.

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-



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 Nordeuropa 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 (Influszu-nahme 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 bürgereten 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 kolonisatorischen Fähigkeiten 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.

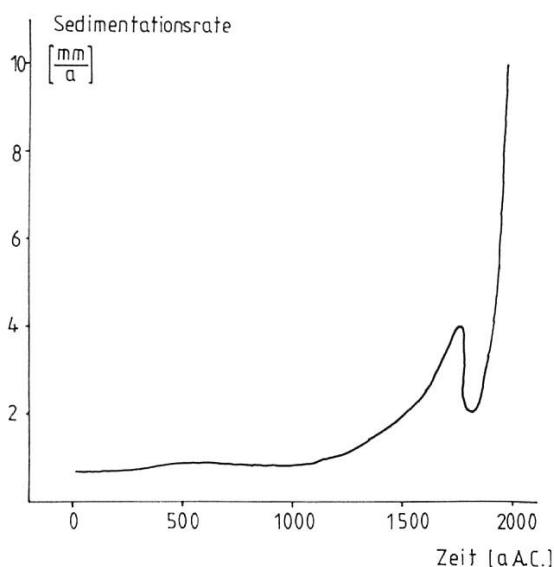


Abbildung 20: Entwicklung der Sedimentationsraten im Ostbecken des Nussbaumersees in den letzten 2000 Jahren.

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