

# Die Entwicklung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme am Rotsee (Zentralschweiz) im Verlauf der letzten 15000 Jahre

Autor(en): **Lotter, André F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern**

Band (Jahr): **31 (1990)**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-523489>

## **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.

# Die Entwicklung terrestrischer und aquatischer Ökosysteme am Rotsee (Zentralschweiz) im Verlauf der letzten 15 000 Jahre

ANDRÉ F. LOTTER

## *Zusammenfassung*

Aufgrund von paläoökologischen und paläolimnologischen Untersuchungen der Sedimente des Rotsees bei Luzern konnte die Entwicklung von terrestrischen und aquatischen Ökosystemen seit dem Ende der letzten Eiszeit zurückverfolgt werden. Mit Hilfe der Pollenanalyse konnte die Vegetationsgeschichte, deren Verlauf sich gut mit den Ergebnissen aus dem Schweizer Mittelland vergleichen lässt, aufgezeigt werden. Die Analyse von subfossilen Makrophytenresten sowie die Diatomeenanalyse erlaubten eine Rekonstruktion der trophischen Entwicklung des Sees und erbrachten den Nachweis von Wasserspiegelschwankungen im Verlauf der letzten 10 000 Jahre: Der See entwickelte sich zwischen 15 000 und 12 000 B. P. von einem oligotrophen zu einem mesotrophen und ab 10 000 B. P. zu einem eutrophen Gewässer. In weiten Uferbereichen des Sees erfolgte vor rund 7 000 Jahren eine natürliche Verlandung. Der Seespiegel senkte sich bis 5 000 B. P. um bis zu 7 m und stieg erst im Mittelalter wieder an. Die holozänen pH-Werte des Rotsees, welche sich aufgrund seiner Diatomeenflora errechnen liessen, bewegen sich zwischen 7 und 10.

Die multivariate Datenanalyse von Pollen, Sedimentzusammensetzung und Diatomeen zeigte, dass der Wechsel von Laubwäldern zu Weisstanne-Mischwäldern die aquatischen und terrestrischen Ökosysteme im Holozän nachhaltig beeinflusste.

## *Résumé*

Les analyses paléoécologiques et paléolimnologiques des sédiments du Rotsee (Lucerne) ont permis de reconstituer l'évolution des écosystèmes terrestres et aquatiques depuis la dernière glaciation. L'histoire de la végétation, établie sur la base de l'analyse pollinique, est comparable aux résultats déjà obtenus pour le Plateau suisse. Les analyses des macrorestes aquatiques et de la flore des diatomées ont permis d'établir l'état trophique du lac et ont donné des indications quant aux fluctuations lacustres: De 15 000 à 12 000 B. P., le lac est passé de l'état oligotrophe à celui de mésotrophe. Il est devenue eutrophe dès 10 000 B. P. Il y a 7 000 ans, les zones littorales du lac sont atterries naturellement sur de vastes surfaces. Vers 5 000 B. P., le lac s'est abaissé de 7 mètres. Une hausse du niveau lacustre ne s'est produite qu'au Moyen-Age. Le pH du Rotsee, calculé sur la base des associations d'espèces de diatomées, s'est situé entre 7 et 10 durant l'Holocène.

L'analyse multivariée des diatomées, des résultats polliniques et de la composition des sédiments a démontré que le passage d'une forêt mixte de feuillus à une hêtraie à sapin a grandement influencé les écosystèmes terrestres et aquatiques de l'Holocène.

*Abstract*

Palaeoecological and palaeolimnological investigations of the Rotsee sedimentary record allowed a reconstruction of the development of terrestrial and aquatic ecosystems since the last ice-age. The vegetation history was evidenced by means of pollen analysis and its development is well comparable to the results of the Swiss Plateau. The analyses of subfossil macrophytes and diatoms allowed a reconstruction of the trophic history of the lake as well as to evidence lake-level fluctuations during the last 10000 years. Between 15000

and 12000 B.P. the lake changed from oligotrophic to mesotrophic conditions and after 10000 B.P. it became eutrophic. Large littoral parts of the lake filled in 7000 years ago. The lake-level was eventually lowered by up to 7 m until 5000 B.P. and did not rise before the Middle Ages. The diatom-inferred pH values range between 7 and 10 during the Holocene.

A multivariate data analysis including the pollen, sediment, and diatom records suggests that the change from a deciduous forest to a mixed fir forest had a major influence on aquatic and terrestrial ecosystems during the Holocene.

*1. Einleitung*

Geologie und Klima sind beides Hauptfaktoren, welche terrestrische und aquatische Ökosysteme unter natürlichen Bedingungen nachhaltig beeinflussen und damit auch die Zusammensetzung von Seeablagerungen steuern. Jahr für Jahr werden Informationen über herrschende Umweltverhältnisse in Form von Fossilien (z.B. Tier- und Pflanzenreste) in limnischen Sedimenten eingelagert, welche somit ein Archiv bilden, in dem Angaben über vergangene Umweltbedingungen gespeichert werden. Diese verschiedenen Anhaltspunkte können mit Hilfe von paläoökologischen und paläolimnologischen Methoden gelesen werden, was wiederum erlaubt, vergangene Umweltverhältnisse, wie z.B. Klima, Vegetation oder Nährstoffverhältnisse eines Sees zu rekonstruieren. Neben ihrer historischen und lokalen Bedeutung liefern solche paläoökologische und paläolimnologische Untersuchungsergebnisse aber hauptsächlich wertvolle Beurteilungsgrundlagen für aktuelle und globale Umweltfragen wie z.B. für den Gewässerschutz (Verschmutzung, Versauerung) oder für die drohende Klimaveränderung infolge des Treibhauseffekts.

Die Schweiz weist ein sehr dichtes Netz an vegetationsgeschichtlichen Untersuchungen auf, welche sich vor allem auf das Spätglazial und das Holozän, also auf die letzten 15000 bis 10000 Jahre konzentrieren (vgl. LANG

1985a). Im Gegensatz zu zahlreichen Studien im skandinavischen oder nordamerikanischen Raum liegen aus dem alpinen und zentraleuropäischen Raum nur vereinzelte Forschungsergebnisse vor, die sich neben der Vegetations- und Klimageschichte auch mit interdisziplinären paläoökologischen Fragestellungen beschäftigen (z.B. AMMANN et al. 1985; AMMANN 1989). Der vorliegende Beitrag soll deshalb einen weiteren Schritt in Richtung Rekonstruktion aquatischer und terrestrischer Ökosysteme darstellen.

*2. Untersuchungsgebiet*

Aus dem Gebiet der Zentralschweiz liegen nur vereinzelte pollenanalytische Arbeiten vor (Literaturüberblick in LANG 1985a, LOTTER 1988a). Das Schwergewicht der neueren Untersuchungen (KÜTTEL 1982, 1983; GEHRIG 1989; WYNISTORF 1988) liegt hauptsächlich in der Erforschung der vegetationsgeschichtlichen Entwicklung seit der letzten Eiszeit.

Der Rotsee bei Luzern, welcher in den letzten 80 Jahren intensiv limnologisch erforscht wurde (Literaturüberblick in LOTTER 1988a), wurde im Rahmen des Schweizer Beitrags zum International Geological Correlation Programme (IGCP Project 158b) «Palaeohydrological changes in the temperate zone in the last 15000 years: lake and mire environment» (LANG 1985b) als eine

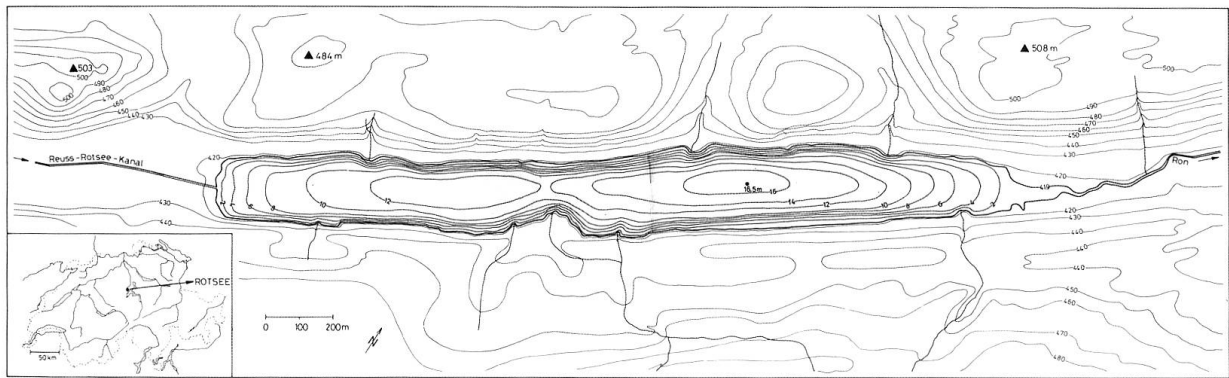


Abb.1: Lage des Rotsees und bathymetrische Karte des Seebeckens.

Lokalität im Übergangsbereich vom Mittelland zu den Voralpen untersucht (LOTTER 1988a).

Der 2,5 km lange Rotsee liegt auf 419 m ü. M. und erstreckt sich in der Streichrichtung der subalpinen Molasse von SW nach NE (Abb.1). Der eutrophe und seit mindestens 2000 Jahren meromiktische See (ZÜLLIG 1985) hat eine Oberfläche von 0,46 km<sup>2</sup> bei einem Volumen von 0,0039 km<sup>3</sup>. Seine maximale Tiefe beträgt 16 m, bei einer mittleren Tiefe von 9 m. Das ursprüngliche Einzugsgebiet umfasste 4,6 km<sup>2</sup> und führte dem See bis zur Inbetriebnahme des Reuss–Rotsee-Kanals 1922 etwa 30–40 l/Sek. zu; seit Juni 1922 beträgt die mittlere Abflussmenge 350 l/Sek., womit sich die theoretische Wassererneuerungszeit von ursprünglich 3–4 Jahren auf 0,4 Jahre senkte.

Noch im letzten Interglazial verlief der Flusslauf der Reuss durch das heutige Rontal (KOPP 1962). Der Rotsee entstand am Ende der letzten Eiszeit, als eine Schotter-schüttung im Bereich des Friedentals dem Schmelzwasser des Reussgletschers den Abfluss durch das angestammte Rontal versperrte, so dass sich die Reuss vor Reussbühl einen Durchbruch zur Kleinen Emme schuf.

3. Methoden

Entlang eines Transekts wurden zwischen 1984 und 1986 in der Längsachse des Rotsees

15 Bohrungen abgeteuft (Abb.2), wobei im Verlandungsbereich sowie bis in 8 m Wassertiefe ein modifizierter Livingstone-Bohrer (MERKT & STREIF 1970) und im tieferen Wasser ein Kullenberg-Kolbenlot (KELTS et al. 1986) zur Anwendung kamen. Die so gewonnenen Sedimentkerne wurden dann in bezug auf Pollen, pflanzliche Grossreste, Diatomeen, stabile Isotope und Sedimentzusammensetzung untersucht (vgl. LOTTER 1988a). Die multivariate Datenanalyse (vgl. Abschnitt 7) wurde mit dem Computerprogramm CANOCO (TER BRAAK 1987) durchgeführt.

4. Chronologie

Eine präzise Chronologie ist für paläoökologische Untersuchungen von grösster Wichtigkeit, denn erst eine verlässliche Zeitskala ermöglicht es, vergangene terrestrische wie auch limnische Veränderungen zu beurteilen und zu interpretieren.

Aufgrund von 75 <sup>14</sup>C-Datierungen konnte eine Chronologie für die spät- und postglazialen Ereignisse am Rotsee erarbeitet werden (LOTTER 1988a). Die Altersangaben in diesem Beitrag beziehen sich alle auf konventionelle <sup>14</sup>C-Jahre B. P. (= vor heute, d. h. vor 1950; STUIVER & POLACH 1977). Ausgedehnte Beschleuniger-Datierungsserien an terrestrischen pflanzlichen Makrofossilien zeigten Probleme der spätquartären Chronologie auf (AMMANN & LOTTER 1989;



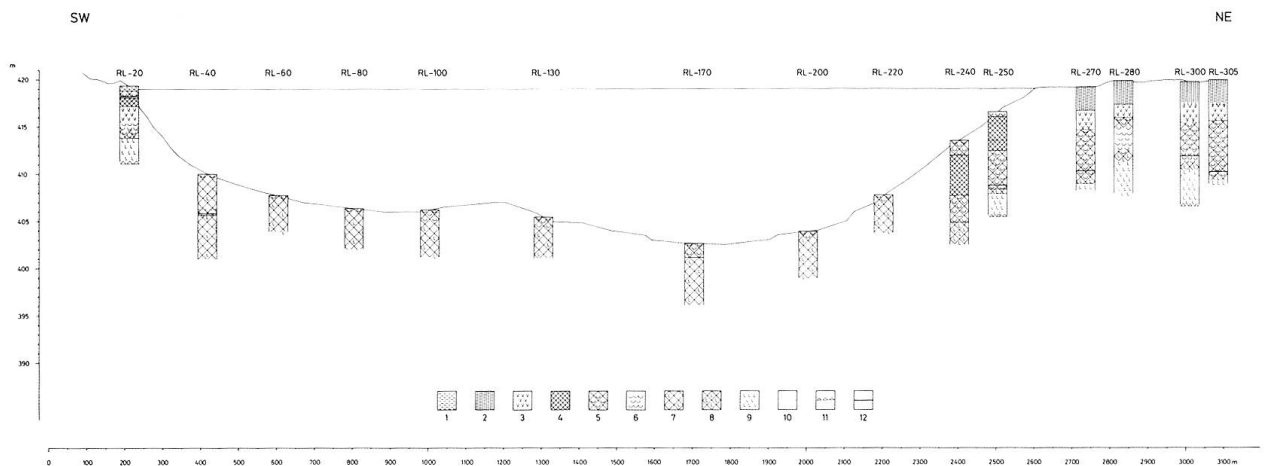


Abb. 2: Längsschnitt durch den Rotsee mit der Lage der untersuchten Sedimentprofile. Stratigraphie: 1 Humus; 2 Seggentorf; 3 Bruchwaldtorf; 4 Feindetritusgyttja; 5 Kalkgyttja; 6 Seekreide; 7 diatomeenreiche Feindetritusgyttja; 8 Tongyttja; 9 sandiger Ton; 10 Sand; 11 Grundmoräne; 12 Laacher See Tephra (11000 B. P.).

LOTTER & ZBINDEN 1989): An Gyttja-Ablagerungen erhaltene  $^{14}\text{C}$ -Daten ergeben in den meisten Fällen aufgrund eines Hartwasserfehlers ein zu hohes Alter. Im Spätglazial konnten dank den feinaufgelösten Datierungsreihen vom Lobsigensee und vom Rotsee zwei Zeitabschnitte mit konstanten Radiokarbonaltern um 12700 und 10000 B. P. festgestellt werden, welche eine Interpretation von vegetationsdynamischen Prozessen in diesen beiden Perioden erschweren (vgl. AMMANN & LOTTER 1989; LOTTER & ZBINDEN 1989).

Die in den holozänen Ablagerungen des Rotsees an Gyttja-Proben erhaltenen  $^{14}\text{C}$ -Daten (LOTTER 1988a) ergaben vermutlich aufgrund eines Hartwasserfehlers ein zu hohes Alter. Mittels Vergleichen mit andern, an Torf erhaltenen Daten aus dem Schweizer Mittelland, konnte die holozäne Chronologie für den Rotsee jedoch etabliert werden.

Im vorliegenden Beitrag werden alle Diagramme mit einer Zeit- anstatt wie üblich mit einer Tiefenskala wiedergegeben, um so den Vergleich der verschiedenen untersuchten Parameter zu erleichtern.

### 5. Vegetationsgeschichte

Die Pollen- und Makrorestanalyse liefern Informationen über die Entwicklung der Vegetation seit dem Rückzug des Gletschereises in der Region Luzern (LOTTER 1988a). Diese Ergebnisse wurden in Abb. 3 zu einem vereinfachten Diagramm zusammengestellt, das die Pollenstratigraphie der wichtigsten Baumarten entlang der Zeitachse aufzeigt.

Die Abfolge der terrestrischen Vegetation seit dem Ende der letzten Eiszeit gliedert sich im Gebiet um Luzern wie folgt: Vor etwa 15000 Jahren hörte der Einfluss des Gletschers auf das Einzugsgebiet des Rotsees auf. Die Vegetationsbedeckung auf den eisfrei gewordenen, offenen und kalkreichen Moränenböden war sehr lückig und bestand aus einem Mosaik von Pionierarten, wie z. B. aus Gräsern (*Poaceae*), Beifuss (*Artemisia*), Blacken (*Rumex*), Hahnenfussgewächsen (*Ranunculaceae*) und Gänsefussgewächsen (*Chenopodiaceae*). Nach und nach breiteten sich auch Zwergsträucher aus, wie die Netzweide (*Salix reticulata*), der Zwergwacholder (*Juniperus communis* ssp. *nana*) und die Zwergbirke (*Betula nana*).

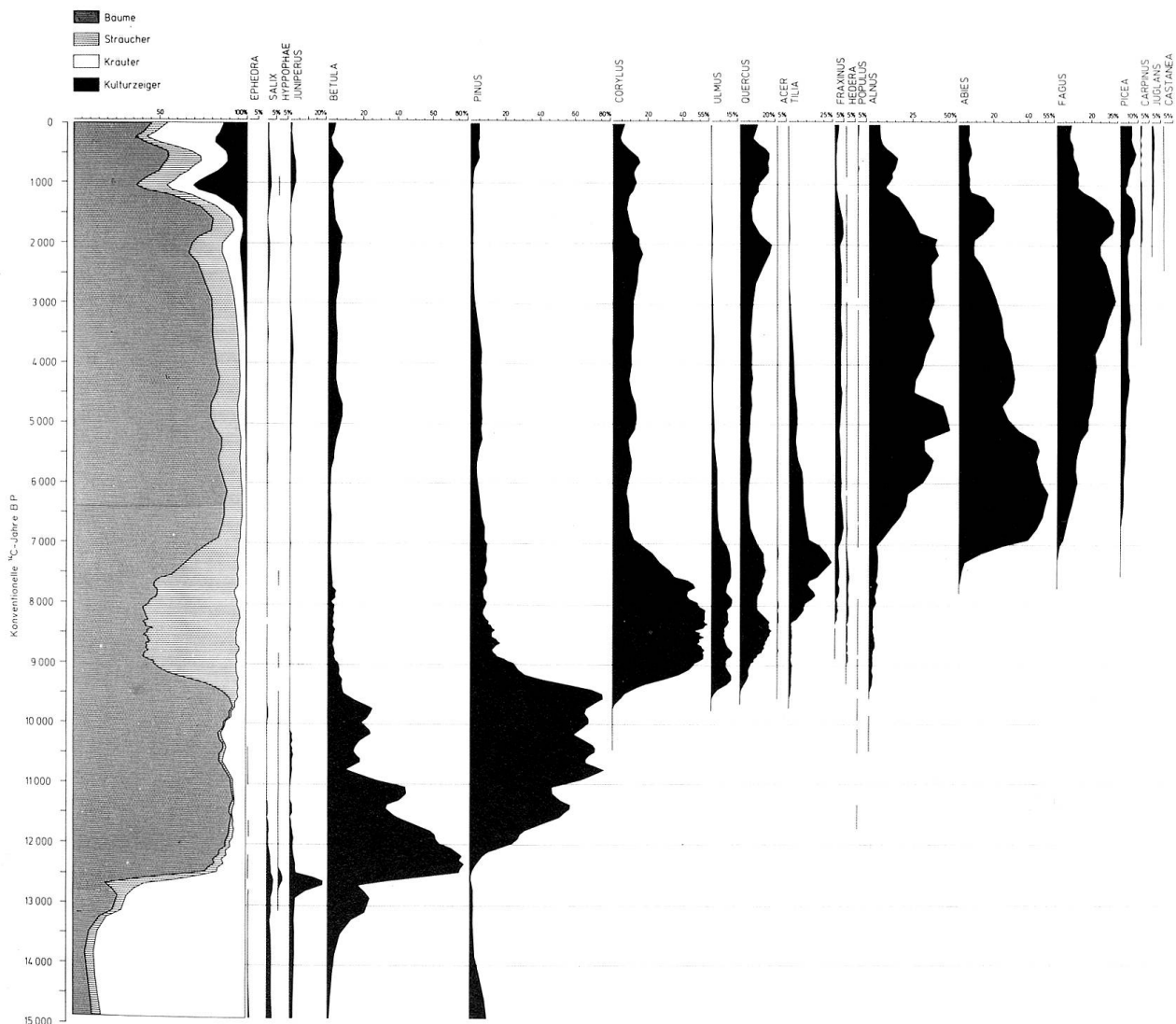


Abb. 3: Vereinfachtes, synthetisches Pollendiagramm vom Rotsee, mit den wichtigsten Gehölzen.

Diese baumlose Vegetation mit ihrer hohen Diversität bildete, aufgrund ihrer Artenzusammensetzung, eine Mischung aus arktisch-alpinen (z. B. *Dryas octopetala*) sowie kontinentalen (z. B. *Ephedra* spp.) Florenelementen (LANG 1952; GAILLARD 1984; ZOLLER 1987).

Ab 14500 B.P. wurde der Vegetationschluss dichter, womit auch die Bodenerosion abnahm. Um 13300 B.P. nahm der Anteil der Zwergbirke (*Betula nana*) markant zu, was auf eine Stabilisierung der Böden und die Bildung einer Humusschicht hinweist (GAILLARD 1984). Der Vegetations-

charakter war durch eine dichte Verzahnung von Zwergsträuchern (*B. nana*, *Salix* spp., *Juniperus*) mit einer Vielfalt von lichtliebenden Kräutern geprägt. Gleichzeitig mit einer klimatischen Erwärmung, welche mit der Sauerstoffisotopenanalyse nachgewiesen werden kann (EICHER 1987; KÜTTEL & LOTTER 1987; LOTTER 1988a), breiteten sich dann um 12700 B.P. Sträucher wie Wacholder (*Juniperus communis*), verschiedene Weiden (*Salix* spp.) und Sanddorn (*Hippophae*) stark aus, wobei der Anteil der Kräuter nach wie vor hoch blieb. Ab 12500 B.P. dominierten die Baumbirken (*Betula pendula*, *B. verru-*

cosa) das Vegetationsbild. ZOLLER (1987) bezeichnet diese Vegetation als «Birkentundra» und als «spätglazialen Vorwald». Die Kräuter sowie die Lichthölzer (*Juniperus*, *Salix*, *Hippophaë*) wurden in der Folge durch die zunehmende Beschattung langsam verdrängt, waren aber im Vegetationsaspekt immer noch bedeutend. Ab 12000 B. P. wanderte die Föhre (*Pinus silvestris*) ein und breitete sich sehr rasch aus. Es entstanden lichte Föhrenwälder mit wechselndem Birkenanteil. Um 10800 B. P. begann der letzte, grossräumige Klimarückschlag, die sog. Jüngere Dryas. Er hatte eine Auflichtung der Föhren-Birkenwälder und eine erneute Zunahme von lichtliebenden Kräutern (*Artemisia*, *Helianthemum*, *Chenopodiaceae*) sowie eine erhöhte Bodenerosion zur Folge. Diese regressive Phase dauerte aufgrund von neuesten Untersuchungen an laminierten Sedimenten des Soppensees (LOTTER, unpubl.) rund 700 Kalenderjahre und lässt sich neben der Pollenanalyse vor allem auch in der Sauerstoffisotopenkurve (EICHER 1987; LOTTER 1988a) sehr gut nachweisen.

Mit der klimatischen Erwärmung nahm auch der Anteil der Bäume wieder zu, wobei sich die Birke (*Betula*) zuerst stark ausbreitete. Ab etwa 9900 B. P. regenerierten sich die Föhrenwälder endgültig, und die Föhre (*Pinus*) setzte sich konkurrenzmassig gegen die Birke (*Betula*) durch. Zur gleichen Zeit begann die langsame Einwanderung von thermisch anspruchsvolleren Gehölzen wie Hasel (*Corylus*), Ulme (*Ulmus*), Eiche (*Quercus*), Ahorn (*Acer*), Linde (*Tilia*) sowie Erle (*Alnus*) in die Zentralschweiz. Aufgrund von Grossrestfunden kann das Vorkommen der Linde (*Tilia platyphyllos*) am Rotsee bereits etwa vor 9500 Jahren belegt werden, was im Vergleich mit andern Lokalitäten des Mittellandes als sehr früh betrachtet werden muss. Zwischen 9500 und 8000 B. P. breiteten sich neben der schattentoleranten Hasel (*Corylus*) vor allem auch die halbschattenertragenden Ulme (*Ulmus*) und Eiche (*Quercus*) stark aus, währenddessen die Abundanz der Föhre (*Pinus*) stetig abnahm. Das Waldbild war bis etwa 8000

B. P. von Ulmen-Eichen-Linden-Wäldern geprägt. Dass diese Laubwälder nicht sehr dicht waren, wird durch das Vorkommen von lichtbedürftigen Epiphyten wie Efeu (*Hedera*) und Mistel (*Viscum*) belegt. Um 8300 B. P. nahm der Anteil der Linde (*Tilia*) markant zu. Die starke lokale Präsenz dieser lindendominierten Laubwälder könnte ein Indiz für ein sehr mildes, durch den Föhn und die thermisch ausgleichende Wirkung des Vierwaldstättersees beeinflusstes, Lokalklima sein. Zur gleichen Zeit breitete sich die Esche (*Fraxinus*) aus und verdrängte zusammen mit der Erle (*Alnus*) langsam die Hasel (*Corylus*) von den feuchteren Standorten.

Zwischen 7500 und 7000 B. P. wanderte als erste Schattholzart die Weisstanne (*Abies*) ein, vermochte sich jedoch erst zwischen 7000 und 6500 auszubreiten. Das Vegetationsbild änderte sich in der Folge zu lichten Laubmischwäldern mit Weisstanne. Die Buche (*Fagus*) als weitere Schattholzart, breitete sich am Rotsee etwa gleichzeitig aus, konnte sich jedoch noch nicht gegen die Konkurrenz der Weisstanne durchsetzen. Im Verlandungsbereich des Rotsees nahm gleichzeitig die Abundanz der Erle (*Alnus*) stark zu (vgl. 6.3 Wasserspiegel).

Kurz nach der Buche wanderte auch die Fichte (*Picea*) ein, vermochte sich jedoch im Mittelland auf dieser Höhenlage nicht stark auszubreiten. Aufgrund der Lichtkonkurrenz unterlagen Linde, Ulme, Eiche und Ahorn langsam den Schattholzarten und wurden sukzessive auf Sonderstandorte, wie z. B. Flusssauen und Schluchten, abgedrängt.

Zwischen 5500 und 5000 B. P., also in der Jungsteinzeit (Neolithikum), zeigen sich im Pollendiagramm die ersten Kulturzeiger, wie z. B. Getreidepollen. Zudem ist eine leichte Zunahme des Wacholders (*Juniperus*) feststellbar, was auf Auflichtungen der Weisstannen-Buchen-Mischwälder durch Rodungen hindeutet.

Ab etwa 5000 B. P. setzte sich dann die Buche (*Fagus*) gegenüber der Weisstanne (*Abies*) durch und erreichte zwischen 4000 und 2500 B. P. ihr Optimum, währenddes-

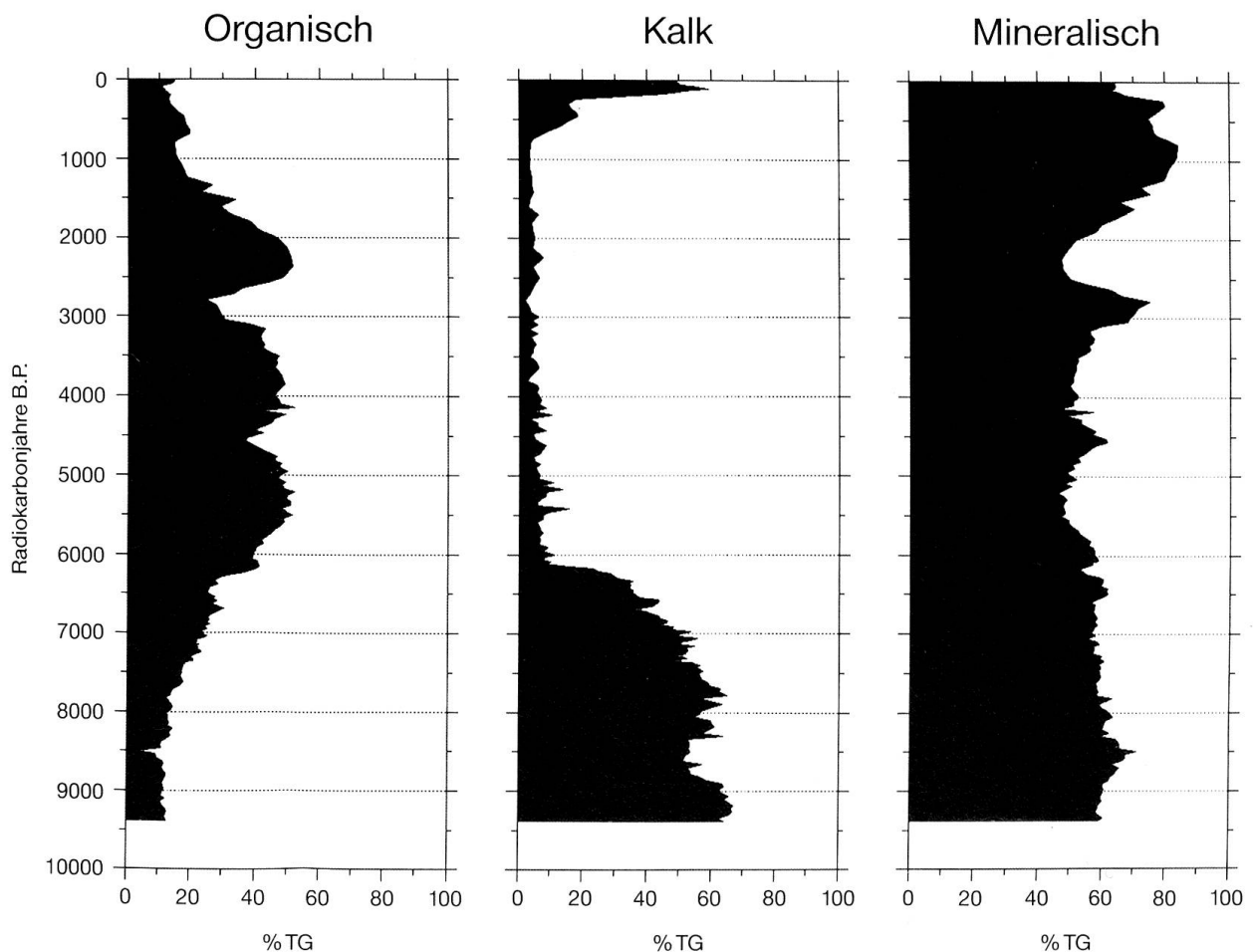
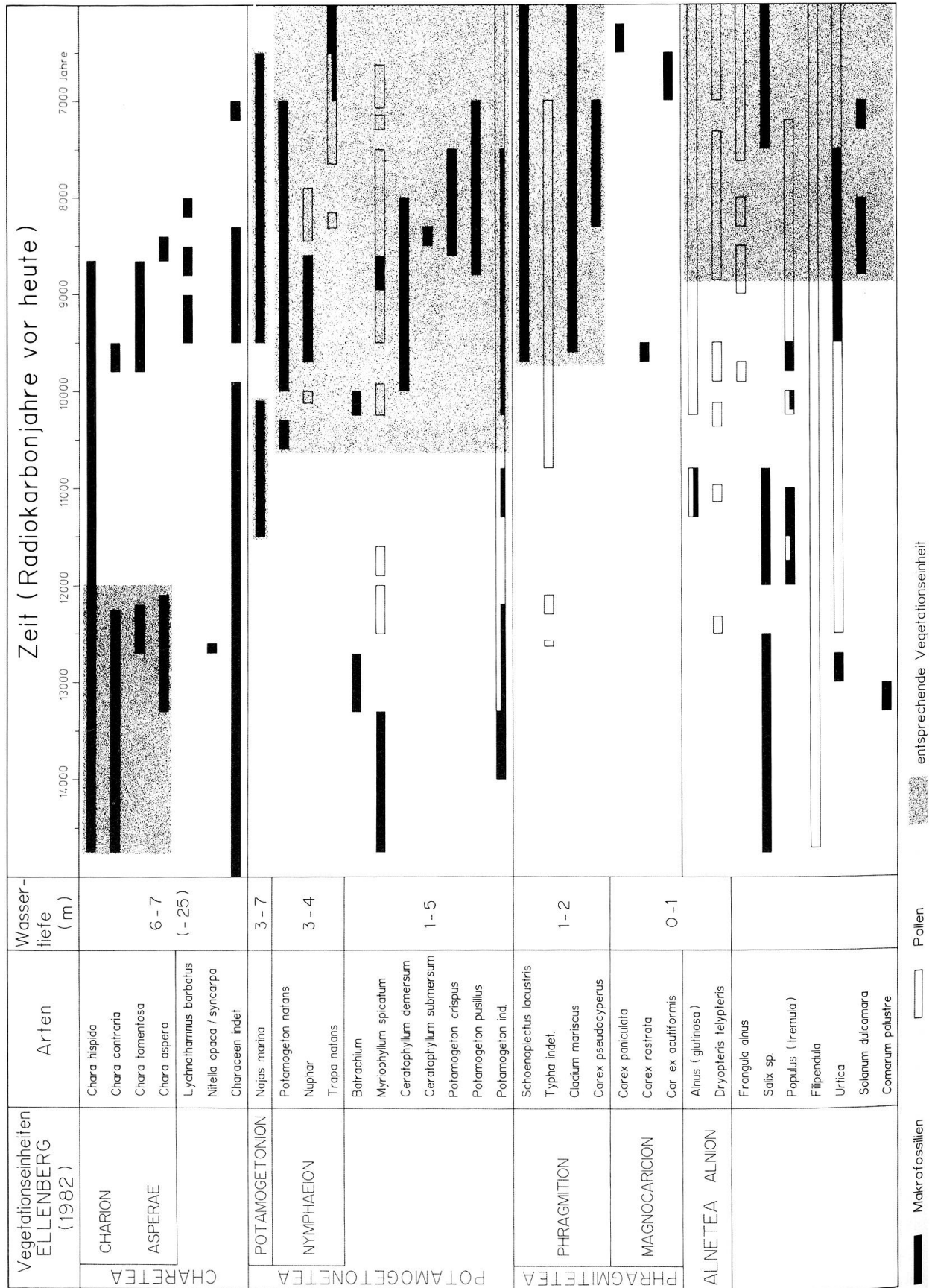


Abb. 4: Sedimentzusammensetzung des Profils RL-240 (in % Trockengewicht).

sen die Abundanz der andern Laubbäume (Linde, Ulme, Ahorn) stark abnahm. Bei den Kulturzeigern ist um 3000 B.P. eine Zunahme der Getreidepollen sowie der Kulturbegleiter (*Plantago lanceolata*, *Rumex*) feststellbar, was auf eine bronzezeitliche Siedlung in unmittelbarer Nähe des Rotsees deutet. Um 2500 B.P. lassen sich im Pollendiagramm starke eisenzeitliche Rodungen der Wälder feststellen, was aus der markanten Abnahme der Buchenkurve (*Fagus*) ersichtlich wird. Mit dem Beginn der römischen Kolonisation der Innerschweiz vor rund 2000 Jahren, treten auch erstmals Roggen (*Secale*), Edelkastanie (*Castanea*) und Nussbaum (*Juglans*) auf, wobei die Rodungen zur Kulturlandgewinnung nochmals stark zunehmen. Während der Völkerwan-

derungszeit des Frühmittelalters nahm die Bewaldung dann erneut zu, und es lässt sich eine Sukzession von Hasel (*Corylus*) – Birke (*Betula*) – Esche (*Fraxinus*) im Pollendiagramm feststellen, bevor die Anteile der Buche (*Fagus*) und der Weisstanne (*Abies*) sowie der Fichte (*Picea*) wieder zunehmen. Im Hochmittelalter ging die Bewaldungsdichte dann ab der Zeit der Klostergründungen (Benediktiner im 8. Jahrhundert A.D. in Luzern, Zisterzienser 1245 A.D. in Rathausen) sehr markant zurück. Aufgrund der zu jener Zeit typischen Waldweide und Eichelmast sowie der Schonung der Eiche (*Quercus*) zwecks Bauholzgewinnung nahm ihr Anteil zu. Für eine grössere Viehhaltung spricht auch das vermehrte Vorkommen von Wacholder (*Juniperus*), der als





eigentliches Weideunkraut vom Vieh gemieden wird (ELLENBERG 1982). Am markantesten trat jedoch zu jener Zeit der Hanf (*Cannabis*) unter den Kulturpflanzen in Erscheinung. Neben der Fasergewinnung wurde auch Öl aus Hanf- und Flachssamen gewonnen, und der Hanfanbau gehörte zu den im Luzernischen am weitesten verbreiteten Sonderkulturen der vorindustriellen bäuerlichen Wirtschaft (WICKI 1979). Etwa ab dem 16. Jahrhundert scheint der Hanfanbau langsam an Bedeutung verloren zu haben. Waldweide und Niederwaldbetrieb sind für diese Zeit historisch belegt. Die letzten starken Rodungsphasen sind im 18./19. Jahrhundert erfolgt und resultierten in der heutigen Kulturlandschaft.

### 6. Seegeschichte

Aufgrund von Untersuchungen der Pollen und der Grossreste von Wasserpflanzen, der Kieselalgen (Diatomeen) sowie der Sedimentzusammensetzung, kann die Entwicklungsgeschichte des aquatischen Ökosystems Rotsee rekonstruiert werden. Als stellvertretendes Beispiel wurden vor allem die Ergebnisse des Profils RL-240 herangezogen. Dieses Profil befindet sich am nordöstlichen Ende des Sees in 8 m Wassertiefe (Abb. 2) und umfasst mit seinen 11 m Länge fast das ganze Holozän.

#### 6.1 Ablagerungen

Die Zusammensetzung des Sediments wurde in drei Komponenten aufgegliedert: organische Sedimentbestandteile, Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ) und mineralische Sedimentbestandteile (Abb. 4).

Zwischen 9500 und 6500 B. P. wurde ein karbonatreiches Sediment abgelagert. Ab etwa 6500 B. P. nahm der organische Anteil

der Ablagerungen stark zu. Der Kalkgehalt ging markant zurück und bewegte sich zwischen 6000 und 500 B. P. unter 5% des Trockengewichts. Der organische Anteil nahm um 4500, um 3000 und nach 2000 B. P. jeweils zugunsten des mineralischen Anteils ab. Dies widerspiegelt eindrücklich die bereits im Pollendiagramm festgestellten Rodungen im Einzugsgebiet des Sees und die damit verbundene Bodenerosion. Die Zunahme des Kalkgehalts in den letzten Jahrhunderten erfolgte aufgrund der erhöhten Trophie des Sees (LOTTER 1989).

#### 6.2 Trophie

Makrophyten und Wasserpflanzengesellschaften sind sehr aussagekräftige Indikatoren für den trophischen Zustand eines Gewässers (LANG 1967, 1973, 1981; MELZER 1976; LACHAVANNE & JUGE 1986). Aufgrund der Makrorestanalysen in den Profilen RL-300 und RL-305 am NE-Ende des Rotsees (Abb. 2 und LOTTER 1988a) kann versucht werden, die Entwicklung des Sees bezüglich Nährstoffgehalt im Spätglazial und im frühen Holozän zu rekonstruieren. In Abb. 5 wurde das Vorkommen von Makroresten und/oder Pollen der Wasser- und Verlandungspflanzen aufgeführt und zu Vegetationseinheiten nach ELLENBERG (1982) gruppiert. Ferner wurden die Wassertiefen vermerkt, in welchen die entsprechenden Verbände heute vorkommen (Angaben v. a. aus HEJNY 1960 und OBERDORFER 1983).

Die hauptsächlich in den spätglazialen Ablagerungen des Rotsees gefundenen Oogonien von Armleuchteralgen (*Characeae*; KRAUSE 1986 und schriftl. Mitteilung) sind Indikatoren für stabile oligo- bis höchstens mesotrophe Verhältnisse (LANG 1973; MELZER 1976; KRAUSE 1981). Unter den Makroresten der höheren Wasserpflanzen befanden sich keine oligotraphenten Vertreter.

◁

Abb. 5: Rekonstruktion subfossiler Wasserpflanzen-Gesellschaften am NE-Ende des Rotsees. Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse der Profile RL-300 und RL-305 verwendet (LOTTER 1988a).



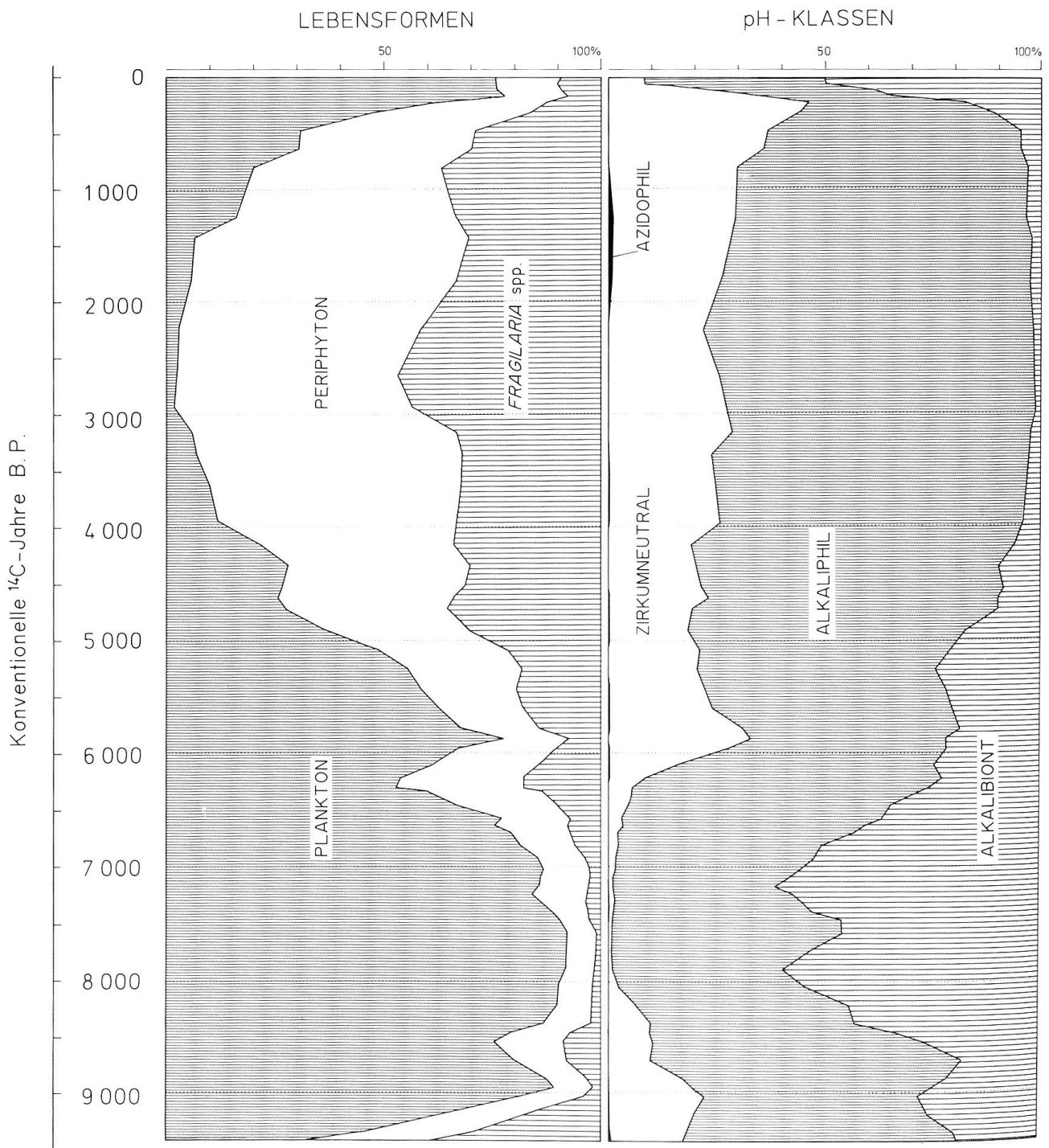


Abb.6: Kumulative Diatomeendiagramme des Profils RL-240. Gliederung der Diatomeen nach Lebensformen und nach pH-Klassen.

Die Nährstoffverhältnisse am Rotsee verbesserten sich nach 12000 B. P. aufgrund des Vorkommens von mesotraphenten Arten des Potamogetonion (*Najas marina*) und des

Nymphaeion (*Potamogeton natans*, *Nuphar lutea*, *Potamogeton crispus*). Erste eutraphente Arten traten ab 10000 B.P. auf (*Ceratophyllum demersum*, *C. submersum*,

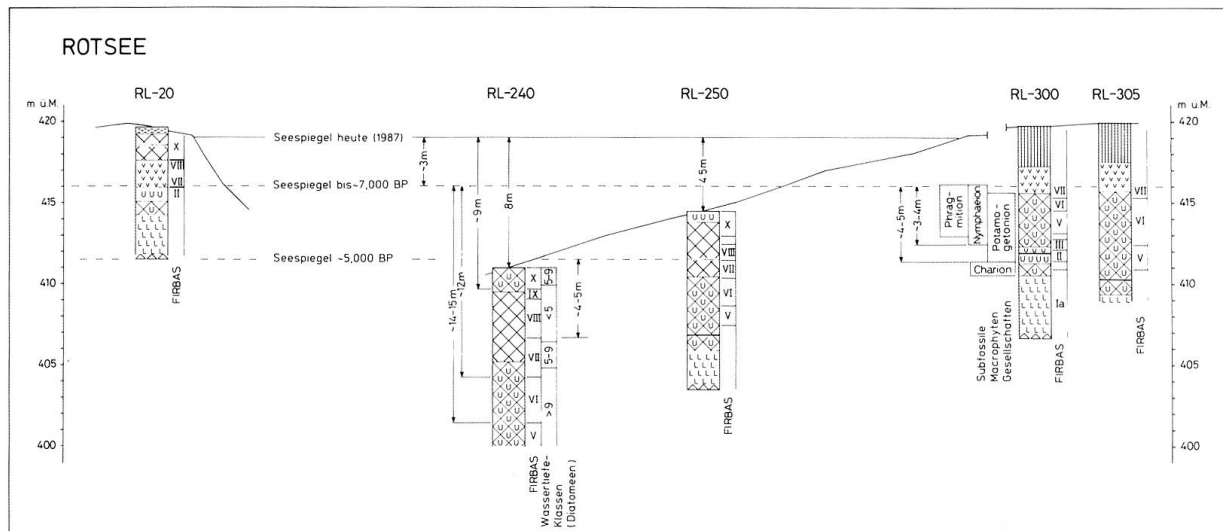


Abb. 7: Wasserspiegelschwankungen des Rotsees im Verlauf der letzten 15000 Jahre. Die Rekonstruktion erfolgte aufgrund von stratigraphischen Befunden (RL-20, RL-300, RL-305), Wasserpflanzengesellschaften (RL-300, RL-305) sowie aufgrund der Einteilung der Diatomeen in Wassertiefenklassen (RL-240) mittels PCA (LOTTER 1988b).

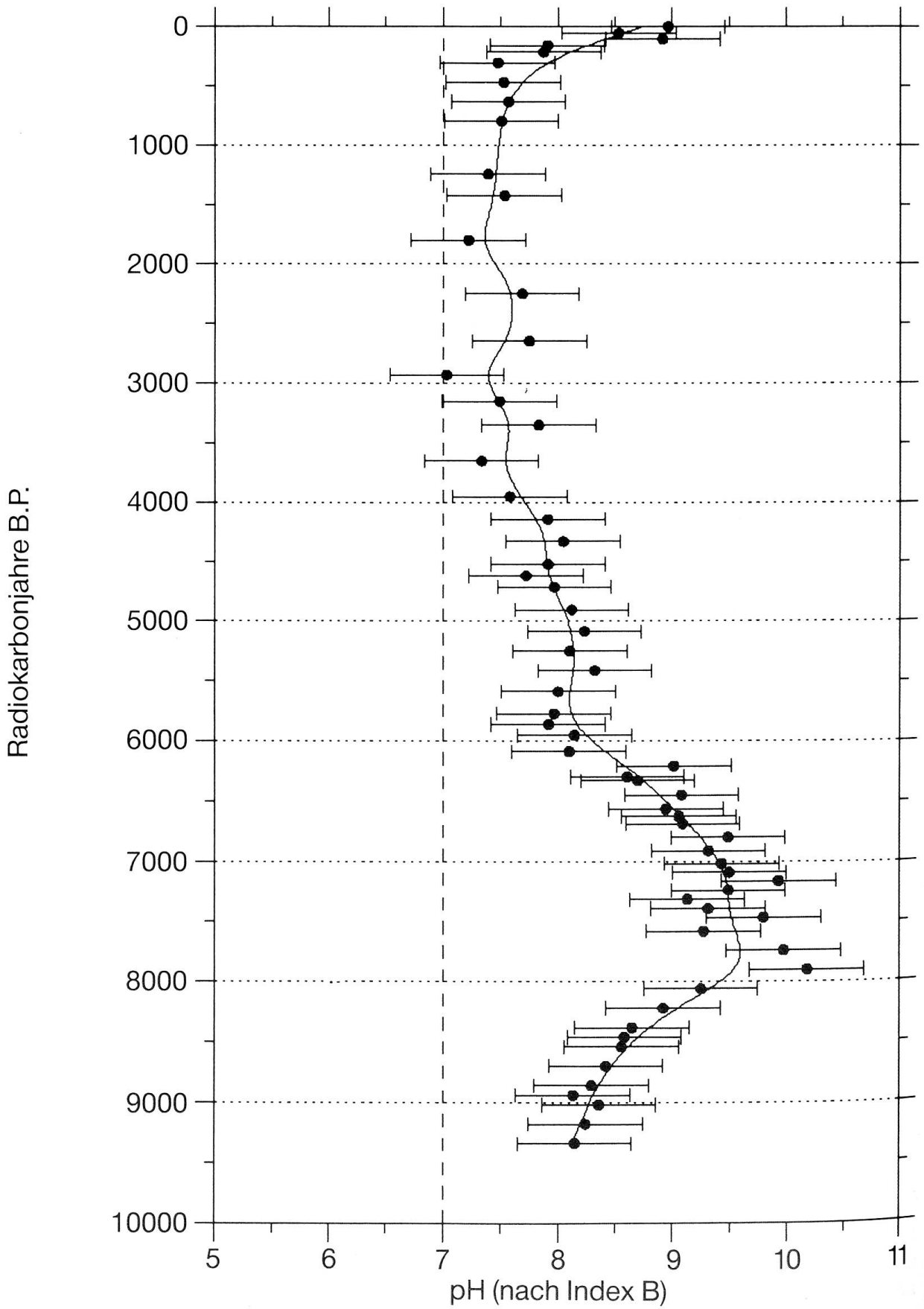
*Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pusillus*, *Trapa natans*). Der Rotsee scheint demzufolge bereits seit dem Beginn des Holozäns eutrophe Verhältnisse aufgewiesen zu haben. Der stärkste Schub in bezug auf Nährstoffzufuhr erfolgte im Verlauf der letzten 150 Jahre, als die Stadt Luzern stark zu wachsen begann und die Abwässer des Maihofquartiers in den Rotsee geleitet wurden (STADELMANN 1982; LOTTER 1989).

### 6.3 Wasserspiegel

Indizien für vergangene Wasserstände des Rotsees ergeben sich durch den stratigraphischen Aufbau der randlichen Ablagerungen (Abb. 2 und 7). So deutet z. B. der Übergang von einem limnischen Sediment (Kalkgyttja) zu einem terrestrischen/telmatischen Sediment (Bruchtorf, Seggentorf) 3 m unter dem heutigen Seespiegel auf eine Erhöhung des Wasserspiegels hin. Mit Hilfe der subfossilen Makrophytengesellschaften (vgl. 6.2 Trophie) sowie durch die Diatomeenanalyse lassen sich auch Hinweise auf ver-

gangene Wassertiefen gewinnen (vgl. Abb. 5 und 7). Bei den Diatomeen ist eine Einteilung in Lebensformen möglich (Abb. 6). So unterscheidet man zwischen Plankton, welches frei im Epilimnion schwebt, und Periphyton. Das Diatomeen-Periphyton umfasst alle Taxa, welche an ein Substrat gebunden sind und demzufolge an Pflanzen (epiphytisch), an Steinen (epilithisch), auf Sediment (epipelisch) oder auf Sandkörnern (epipsammisch) leben. Untersuchungen an Oberflächensedimenten (MERILÄINEN 1971; BRADBURY & WINTER 1976) zeigten, dass die Diatomeen nach ihrem Tod hauptsächlich an ihrem entsprechenden Habitat sedimentiert werden. Deshalb lässt das Verhältnis von Plankton zu Periphyton in Bohrprofilen in vielen Fällen Aussagen über Wasserspiegeländerungen zu.

Die Ablagerungen des Rotsees sind charakterisiert durch verschiedene Wechsel der Diatomeen-Lebensformen (Abb. 6): Bis 6500 B. P. dominierten planktische Kieselalgen (*Cyclotella*-Arten), dann nahmen die periphytischen Taxa, unter ihnen vor allem die *Fragilaria*-Arten, stark zu. Erst um



1500 B. P. nahm das Diatomeenplankton wieder zu. 6.4 pH

Der statistische Vergleich (PCA) von Diatomeengesellschaften in den Oberflächensedimenten aus verschiedenen Wassertiefen des Rotsees mit den subfossilen Gesellschaften in Bohrprofilen des Rotsees erlaubte die Rekonstruktion von vergangenen Seetiefen (LOTTER 1988a und b; vgl. auch Abb. 7).

Aufgrund der Rekonstruktion der Makrophytengesellschaften (Abb. 5 und 7) kann angenommen werden, dass sich der Wasserspiegel zwischen 12000 und 7000 B. P. mehr oder weniger konstant auf 416 m ü. M., also etwa 3 m unter dem heutigen Stand gehalten hat. Das Becken füllte sich langsam mit Sediment auf und wurde somit immer seichter (vgl. Abb. 7). Die gefundene Abfolge der Makrophytengesellschaften (Abb. 5) zeigt die klassische Stillwasserverlandung auf: Armluchteralgenrasen (*Charion asperae*) – Laichkrautgesellschaften (*Potamogetonion*) – Schwimmblattgesellschaften (*Nymphaeion*) – Röhricht (*Phragmition*) – Grossseggenried (*Magnocaricion*) – Erlenbruchwald (*Alnion glutinosae*). Die für die subfossilen Makrophytengesellschaften ermittelten Wassertiefen (Abb. 7) entsprechen gut den für die entsprechenden Verbände heute beobachteten Wassertiefen (Abb. 5): *Potamogetonion* 3–7 m, *Nymphaeion* 3–4 m (LACHAVANNE & KLÖTZLI 1984). Ab 7000 B. P. verlandeten weite litorale Partien des Sees, und bis 5000 B. P. lässt sich ein Absinken des Wasserspiegels auf höchstens 412 m ü. M. nachweisen (LOTTER 1988a und b). Der Wiederanstieg des Seespiegels erfolgte erst zwischen 1500 und 1000 B. P., also im Mittelalter und lässt sich auch in den Pollendiagrammen nachweisen: Die Abnahme der Erlen-Kurve (*Alnus*) deutet auf eine starke Schrumpfung der Erlen-Bruchwälder um den See, bedingt durch die Überflutung seiner potentiellen Standorte, hin.

Diatomeen sind ausgezeichnete Bioindikatoren für die Ermittlung von vergangenen pH-Werten eines Gewässers (NYGAARD 1956; MERILÄINEN 1967; RENBERG & HELLBERG 1982; DAVIS 1987). Die einzelnen Taxa lassen sich aufgrund ihrer pH-Präferenz in Klassen (vgl. Abb. 6) einteilen (HUSTEDT 1937–39).

Die Diatomeenflora des Rotsees wurde bis um 6500 B. P. von alkaliphilen und alkali-bionten Taxa dominiert. Diese Entwicklung verläuft parallel zu jener des Kalkgehalts (Abb. 4). Erst ab 6500 B. P. nahmen die zirkumneutralen Arten zu, und ab dann lassen sich auch vereinzelt azidophile Arten nachweisen.

Mit der «Index B»-Methode (RENBERG & HELLBERG 1982) wurde es möglich, die pH-Entwicklung eines Sees aufgrund seiner subfossilen Diatomeenflora auf  $\pm 0,3$  pH-Einheiten genau zu rekonstruieren. Die pH-Werte, welche aus der Diatomeenzusammensetzung der Oberflächensedimente berechnet wurden (LOTTER 1988a), liegen zwischen 7,3 und 8,9. Die im Verlauf der Jahre 1969/70 und 1978/79 im Rotseewasser gemessenen pH-Werte bewegen sich zwischen 7,3 und 9,2 (STADELMANN, schriftl. Mitteilung), mit Schwergewicht im Bereich zwischen pH 8–9. Somit entsprechen die mit Index B errechneten pH-Werte recht gut der Realität, und es kann deshalb angenommen werden, dass sich die berechneten Werte in der in Abb. 8 angegebenen Bandbreite ( $\pm 0,5$  pH-Einheit) bewegten.

Für den Rotsee ergeben sich die höchsten Werte mit pH > 9 zwischen 8500 und 6500 B. P. und dann wieder während der letzten Jahrhunderte (Abb. 8). Zwischen 6000 und 500 B. P. bewegen sich die rekonstruierten Werte zwischen pH 7–8 und liegen damit deutlich tiefer.

◁

Abb. 8: Rekonstruktion der pH-Verhältnisse des Rotsees im Verlauf der letzten 10000 Jahre mittels Index B (Profil RL-240).

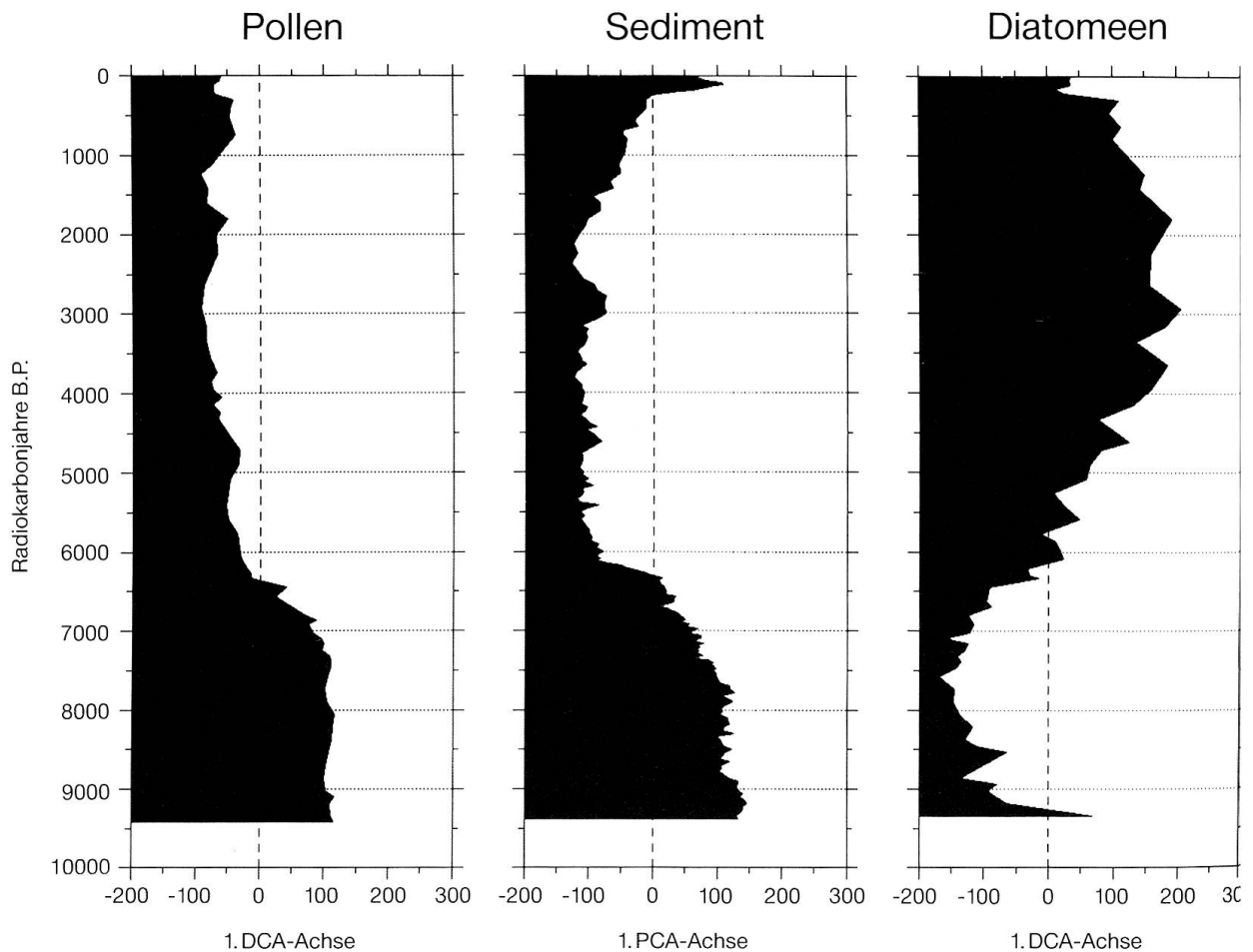


Abb.9: Numerische Auswertung der Ergebnisse von Pollen-, Sediment- und Diatomeenanalyse in Profil RL-240.

### 7. Paläoökologie und Paläolimnologie des Rotsees

Anhand der drei subfossilen Komponenten Pollen, Sedimentzusammensetzung und Diatomeen, werden im folgenden einige Aspekte der holozänen Paläoökologie und Paläolimnologie des Rotsees diskutiert. Mittels numerischer Methoden (z.B. Principal Components Analysis PCA, Detrended Correspondence Analysis DCA; vgl. BIRKS & GORDON 1985; JONGMAN et al. 1987; BIRKS et al. 1988) lassen sich äusserst komplexe, multivariate Daten (z.B. Pollen-, Diatomeen und Sedimentdaten) mit wenigen Achsen vereinfacht graphisch darstellen. Wenn die Probenwerte der 1. DCA-Achse gemäss ihrer stratigraphischen Lage aufge-

zeichnet werden, erhält man Informationen über die Grössenordnung der Veränderungen im Pollen- und Diatomeenspektrum zwischen den einzelnen Proben und damit verbunden folglich auch über Veränderungen in der terrestrischen und aquatischen Vegetation (JACOBSON & GRIMM 1986; BIRKS et al. 1988).

Die Werte der Pollenproben auf der 1. DCA-Achse reflektieren die holozänen terrestrischen Verhältnisse im Einzugsgebiet des Rotsee: Zwischen 9000 und 7000 B.P. waren die Vegetationsverhältnisse sehr stabil. Der grösste Wechsel in den holozänen Pollenspektren und somit auch in der Vegetation erfolgte zwischen 7000 und 6000 B.P. mit der Ausbreitung von Weisstanne (*Abies*), Buche (*Fagus*) und Erle (*Alnus*)



unter gleichzeitiger Verdrängung von Ulme (*Ulmus*), Eiche (*Quercus*) und Linde (*Tilia*).

Das Sediment beinhaltet sowohl Informationen terrestrischer wie auch aquatischer Herkunft. Dies zeigt sich in der Kurve der Sedimentwerte auf der ersten PCA-Achse sehr deutlich: Die Kurve verläuft bis um 3000 B.P. erstaunlich parallel zu jener der Pollen und lässt darauf schliessen, dass die Sedimentzusammensetzung hauptsächlich durch die Verhältnisse im Einzugsgebiet des Rotsees gesteuert wurde. Die beiden grössten Wechsel, jener zwischen 7000 und 6000 B.P. sowie derjenige im Verlauf der letzten Jahrhunderte, sind vor allem auf die markanten Änderungen des Kalkgehalts zurückzuführen (vgl. Abb. 4). Einzelne kleinere Wechsel sind bedingt durch die Zunahme des mineralischen Sedimentanteils und lassen sich dem menschlichen Einfluss im Einzugsgebiet zuordnen: Um 4500 B.P. dem Neolithikum, um 3000 B.P. der Bronzezeit und nach 2000 B.P. den Römern und dem Mittelalter.

Die Informationen aus dem aquatischen Bereich sind in der Kurve der Diatomeen zusammengefasst. Hier wirken sich vor allem die Schwankungen im Verhältnis Plankton/Periphyton und damit die Wassertiefenschwankungen stark aus. Daneben spielen jedoch Veränderungen im terrestrischen Bereich auch hier eine wichtige Rolle. Nach 6000 B.P., also nach der Ausbreitung der Weisstanne (*Abies*), lässt sich eine markante Zunahme der zirkumneutralen Diatomeen feststellen (Abb. 6), was sich ebenfalls in einer graduellen Absenkung der diatomeenberechneten pH-Werte (Abb. 8) niederschlägt. Die starke anthropogene Eutrophierung der letzten 150 Jahre und die damit

verbundene erneute Anhebung des pH kommt ebenfalls deutlich zum Ausdruck.

Aufgrund der drei Kurven (Abb. 9) kann angenommen werden, dass die Ausbreitung der Weisstanne jenes Ereignis war, das die holozänen Ökosysteme am Rotsee am nachhaltigsten beeinflusst hat. Mit der Umgestaltung der Linden-Ulmen-Eichen-Laubwälder in einen von der Weisstanne dominierten Mischwald müssen sich auch die pedologischen Verhältnisse stark verändert haben: Die schwer abbaubare Nadelstreu von Koniferen produziert mehr Huminsäuren als Laubstreu, was sich auf die Pedogenese auswirkt. Auf sandigen Böden und in Gebieten mit kristallinem Gesteinsuntergrund kann dies zu einer Versauerung und Podsolisierung der Böden führen. Im Schweizer Mittelland hingegen dominieren kalkreiche Moränenböden, welche eine ausreichende Pufferkapazität aufweisen, um eine solche Versauerung der Böden und der Gewässer zu verhindern. Der rückläufige Kalkgehalt des Sediments (Abb. 4) sowie die Abnahme der errechneten pH-Werte (Abb. 8), die beide mit der *Abies*-Ausbreitung koinzidieren, lassen jedoch vermuten, dass ein guter Teil des Kalziumkarbonats im Einzugsgebiet des Sees zur Neutralisation der vermehrt anfallenden Huminsäuren gebraucht wurde (vgl. SCHNOOR & STUMM 1985; GORHAM et al. 1985).

#### Verdankung

Ich danke folgenden Personen für ihre Unterstützung: H. J. B. Birks, J.-N. Haas, I. Hofmann, M. Kummer, I. Richoz, P. Stadelmann und M. Sturm.



## LITERATURVERZEICHNIS

- AMMANN, B. (1989): *Late-Quaternary palynology at Lobsigensee. Regional vegetation history and local lake development.* – Diss. Bot. 137, 1–158.
- AMMANN, B., ANDRÉE, M., CHAIX, L., EICHER, U., ELIAS, S. A., HOFMANN, W., OESCHGER, H., SIEGENTHALER, U., TOBOLSKI, K., WILKINSON, B. & ZÜLLIG, H. (1985): *An attempt at a palaeoecological synthesis.* In: LANG, G. *Swiss lake and mire environments during the last 15000 years.* – Diss. Bot. 87, 165–170.
- AMMANN, B. & LOTTER, A. F. (1989): *Late-Glacial radio-carbon- and palynostratigraphy on the Swiss Plateau.* – *Boreas* 18, 109–126.
- BIRKS, H. J. B. & GORDON, A. D. (1985): *Numerical methods in Quaternary pollen analysis.* – Academic Press, London. 317 S.
- BIRKS, H. J. B., LINE, J. M. & PERSSON, T. (1988): *Quantitative estimation of human impact on cultural landscape development.* In: BIRKS, H. H., BIRKS, H. J. B., KALAND, P. E. & MOE, D. *The Cultural Landscape – Past, Present and Future.* – Cambridge University Press, Cambridge. 229–240.
- TER BRAAK, C. J. F. (1987): *CANOCO – a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1).* – TNO Institute for Applied Computer Science, Wageningen. 95 S.
- BRADBURY, J. P. & WINTER, T. C. (1976): *Areal distribution and stratigraphy of diatoms in the sediments of Lake Sallie, Minnesota.* – *Ecology* 57, 1005–1014.
- DAVIS, R. B. (1987): *Paleolimnological diatom studies of acidification of lakes by acid rain: an application of quaternary science.* – *Quat. Sci. Rev.* 6, 147–163.
- EICHER, U. (1987): *Die spätglazialen sowie frühpostglazialen Klimaverhältnisse im Bereich der Alpen: Sauerstoffisotopenkurven kalkhaltiger Sedimente.* – *Geogr. Helv.* 42, 99–104.
- ELLENBERG, H. (1982): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.* – E. Ulmer Verlag, Stuttgart. 989 S.
- GAILLARD, M.-J. (1984): *Etude palynologique de l'évolution tardi- et postglaciaire de la végétation du Moyen Pays Romand (Suisse).* – Diss. Bot. 77, 1–322.
- GEHRIG, R. (1989): *Pollenanalytische und geomorphologische Untersuchungen im Eigental LU. Ein Beitrag zur Vegetations- und Gletschergeschichte des Pilatus-Gebietes.* – Diplomarbeit, Geographisches Institut Universität Zürich. 89 S.
- GORHAM, E., EISENREICH, S. J., FORD, J. & SANTELMANN, M. V. (1985): *The chemistry of bog waters.* In: STUMM, W. *Chemical processes in lakes.* – J. Wiley & Sons, New York. 339–363.
- HEJNY, S. (1960): *Ökologische Charakteristik der Wasser- und Sumpfpflanzen in den slowakischen Tiefebene.* – Verlag der slowak. Akad. Wissenschaften, Bratislava. 487 S.
- HUSTEDT, F. (1937–39): *Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra.* – *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 15 & 16.
- JACOBSON, G. L. & GRIMM, E. C. (1986): *A numerical analysis of Holocene forest and prairie vegetation in central Minnesota.* – *Ecology* 67, 958–966.
- JONGMAN, R. H., TER BRAAK, C. J. F. & VAN TONGEREN, O. F. R. (1987): *Data analysis in community and landscape ecology.* – Pudoc, Wageningen. 299 S.
- KELTS, K., BRIEGEL, U., GHILARDI, K. & HSU, K. (1986): *The limnogeology-ETH coring system.* – *Schweiz. Z. Hydrol.* 48, 104–115.
- KOPP, J. (1962): *Veränderungen von Seen und Flussläufen in der Zentralschweiz in interglazialer und postglazialer Zeit.* – *Mitt. Naturf. Ges. Luzern* 19, 155–166.
- KRAUSE, W. (1981): *Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand.* – *Limnologica* 13, 399–418.
- KRAUSE, W. (1986): *Zur Bestimmungsmöglichkeit subfossiler Characeen-Oosporen an Beispielen aus Schweizer Seen.* – *Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich* 131, 295–313.
- KÜTTEL, M. (1982): *Veränderungen in der spätglazialen Umwelt von Luzern.* *Phys. Geogr.* 1, 195–204.
- KÜTTEL, M. (1983): *Züge der jungpleistozänen Vegetations- und Landschaftsgeschichte der Zentralschweiz.* – *Habil. Manusk.* 215 pp + 21 Tafeln.
- KÜTTEL, M. & LOTTER, A. (1987): *Vegetation und Landschaft der Zentralschweiz im Jungpleistozän.* – *Mitt. Naturf. Ges. Luzern* 29, 251–272.
- LACHAVANNE, J.-B. & KLÖTZLI, F. (1984): *Ufer- und Wasserpflanzen* – In: STADELMANN, P. *Der Vierwaldstättersee und die Seen der Zentralschweiz.* 121–138.
- LACHAVANNE, J.-B. & JUGE, R. (1986): *Etude chorologique et écologique des macrophytes des lacs suisses en fonction de leur altitude et de leur niveau trophique 1976–1985.* – *Rapport Final Fonds National Suisse de la recherche scientifique. Unité de Biologie Aquatique, Université de Genève*, 115 S.
- LANG, G. (1952): *Späteiszeitliche Pflanzenreste in Süddeutschland.* – *Beitr. naturk. Forsch. Südwestdeutschland* 11, 89–110.
- LANG, G. (1967): *Die Ufervegetation des westlichen Bodensees.* – *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 32, 437–574.
- LANG, G. (1973): *Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees unter besonderer Berücksichtigung ihres Zeigerwertes für den Gütezustand.* – *Ber. Internat. Gewässerschutzkomm. Bodensee* 12, 1–67.
- LANG, G. (1981): *Die submersen Makrophyten des Bodensees – 1978 im Vergleich mit 1967.* – *Ber. Internat. Gewässerschutzkomm. Bodensee* 26, 1–64.
- LANG, G. (1985a): *Palynologic research in Switzerland 1925–1985 – a documentation of investigations con-*

- cerning the last 15 000 years. In: LANG, G. *Swiss lake and mire environments during the last 15 000 years.* – Diss. Bot. 87, 11–82.
- LANG, G. (1985b): *Palynologic and stratigraphic investigations of Swiss lake and mire deposits – a general view over a research programme.* In: LANG, G. *Swiss lake and mire environments during the last 15 000 years.* – Diss. Bot. 87, 107–114.
- LOTTER, A. (1988a): *Paläoökologische und paläolimnologische Studie des Rotsees bei Luzern. Pollen-, grossrest-, diatomeen- und sedimentanalytische Untersuchungen.* – Diss. Bot. 124, 1–187.
- LOTTER, A. (1988b): *Past water-level fluctuations at lake Rotsee (Switzerland), evidenced by diatom analysis.* In: MILLER, U. & ROBERTSSON, A.-M. *Proceedings of Nordic Diatomist Meeting Stockholm, June 10–12, 1987.* – University of Stockholm, Dept. of Quaternary Research Report 12, 47–55.
- LOTTER, A. F. (1989): *Subfossil and modern diatom plankton and the palaeolimnology of Rotsee (Switzerland) since 1850.* – *Aquat. Sci.* 51/4, 338–350.
- LOTTER, A. F. & ZBINDEN, H. (1989): *Late-Glacial pollen analysis, oxygen-isotope record, and radiocarbon stratigraphy from Rotsee (Lucerne), Central Swiss Plateau.* – *Eclogae geol. Helv.* 82, 191–202.
- MELZER, A. (1976): *Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen, dargestellt im Rahmen limnologischer Untersuchungen an den Osterseen und den Eggstätt-Hemhofer Seen (Oberbayern).* – Diss. Bot. 34, 1–195.
- MERILÄINEN, J. (1967): *The diatom flora and the hydrogen ion concentration of water.* – *Ann. Bot. Fennici* 4, 51–58.
- MERILÄINEN, J. (1971): *The recent sedimentation of diatom frustules in four meromictic lakes.* – *Ann. Bot. Fennici* 8, 160–176.
- MERKT, J. & STREIF, H. J. (1970): *Stechrohr-Bohrgeräte für limnische und marine Lockersedimente.* – *Geol. Jb.* 88, 137–148.
- NYGAARD, G. (1956): *Ancient and recent flora of diatoms and chrysophyceae in Lake Gribbsø.* In: BERG, K. & PETERSEN, I. B. C. *Studies on the humic acid Lake Gribbsø.* – *Fol. Limnol. Scand.* 8, 32–94.
- ONDERDORFER, E. (1983): *Pflanzensoziologische Exkursionsflora.* – E. Ulmer Verlag, Stuttgart. 1051 S.
- RENBERG, I. & HELLBERG, T. (1982): *The pH history of lakes in south-western Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments.* – *Ambio* 11, 30–33.
- SCHNOOR, J. L. & STUMM, W. (1985): *Acidification of aquatic and terrestrial systems.* – In: STUMM, W. *Chemical processes in lakes.* J. Wiley & Sons, New York, 311–338.
- STADELMANN, P. (1982): *Der Rotsee – Ein Beispiel für einen See, bei dem Gewässerschutzmassnahmen Erfolge brachten.* – *Wasser-Energie-Luft* 74, 12–13.
- STUIVER, M. & POLACH, H. A. (1977): *Discussion: reporting of <sup>14</sup>C-data.* – *Radiocarbon* 19, 355–363.
- WICKI, H. (1979): *Bevölkerung und Wirtschaft des Kantons Luzern im 18. Jahrhundert.* – *Luzerner Historische Veröff.* 9. Rex Verlag, Luzern. 666 S.
- WYNISTORF, E. (1988): *Zur Landschaftsgenese, Vegetations- und Klimageschichte am Nordwesthang der Rigi.* – *Mitt. Naturf. Ges. Luzern* 30, 155–171.
- ZOLLER, H. (1987): *Zur Geschichte der Vegetation im Spätglazial und Holozän der Schweiz.* – *Mitt. Naturf. Ges. Luzern* 29, 123–149.
- ZÜLLIG, H. (1985): *Pigmente phototropher Bakterien in Seesedimenten und ihre Bedeutung für die Seenforschung (Mit Ergebnissen aus dem Lago Cadagno, Rotsee und Lobsigensee).* – *Schweiz. Z. Hydrol.* 47, 87–126.

Dr. A. F. Lotter  
Universität Bern  
Systematisch-Geobotanisches Institut  
Altenbergrain 21  
CH-3013 Bern, Schweiz

