

Untersuchungen an Sedimentkernen aus Seen im Bayerischen und Böhmischem Wald

Günther Michler, München

Sedimente in Akkumulationsräumen geben mehr oder minder gut – Aufschluss über den Abtrag in den Erosionsräumen und über Transportwege und Transportarten. Diese geowissenschaftliche Binsenweisheit gilt besonders für die vergleichsweise noch jungen Sedimente unserer Seen. Der noch recht junge Wissenschaftszweig der Palökologie (aus: Paläo-Ökologie, im speziellen Paläolimnologie) bedient sich bevorzugt der Seesedimente als „Dokumente“ über palökologische Veränderungen in Seen selbst und in deren Einzugsgebiet, das - bezieht man aerische Stoffzuflüsse und den Einfluss des Menschen mit ein - weit über das hydrologische Einzugsgebiet hinausreichen und im Prinzip globale Größenordnung annehmen kann.

Ziel des in diesem Heft begonnen dreiteiligen Beitrags ist es, Untersuchungen an Sedimentbohrkernen vorzulegen, die aus Gr. Arbersee, Rachelsee (Bayer. Wald), Teufelssee und Schwarzer See (Böhmischer Wald, Sumava) entnommen worden sind. Außerdem sollen Ergebnisse von Sedimentuntersuchungen des Flußstausees Höllensteinsee sowie Ergebnisse anderer Forschergruppen zu diesen Seen vorgestellt werden.

Teil 1: Rachelsee

1. Vorbemerkungen

Der Rachelsee (Abb. 1) gehört zu den Seen Bayerns mit geringen direkten Eingriffen des Menschen in früherer Zeit wegen seiner unzugänglichen Lage und in jüngerer Zeit wegen des Nutzungsverbot innerhalb des Nationalparks. Die Sedimente bieten daher die Möglichkeit, den anthropogen verursachten Eintrag von Schadstoffen über die Atmosphäre abzuschätzen. Gleichzeitig konnte anhand einer Analyse der Diatomeen im Sediment exemplarisch die pH-Geschichte von ungepufferten (d.h. im „kristallinen“ Einzugsgebiet gelegenen) Seen deutscher Mittelgebirge beschrieben werden.

Die Kenntnis der geologischen, morphologischen, hydrologischen, klimatologischen und biotischen Gegebenheiten des Einzugsgebietes ist eine wichtige Voraussetzung für eine gelungene Interpretation von Sedimentkernanalysen. Glücklicherweise steht dank zahlreicher Forschungsvorhaben im Nationalpark Bayerischer Wald mittlerweile eine umfangreiche Literatur zu diesen Problemkreisen zur Verfügung, u.a. Veröffentlichungen des Nationalparkamtes (HAUNER 1980, NOACK 1979, PETERMANN u. SEIBERT 1979, ELLING et al. 1979), außerdem zahlreiche Diplomarbeiten (HECKER 1982, NIRSCHL 1983, ROSENBERGER 1985, Ch. SOL-

CHER 1998).

Als Analysengrundlage dienten vier Sedimentkerne, die mit einem modifizierten Großrammkolbenlot nach ZÜLLIG (1956) entnommen wurden. Als Rammlot diente ein 6 m langes Stahlrohr, in dem als Sedimentbehälter ein ebenso langes PVC-Rohr von 36 mm Weite eingeschlossen war. Die PVC-Rohre wurden anschließend im Labor aufgeschnitten und cm-weise verprobt. Das Untersuchungsprogramm umfasste die Bestimmung des Wassergehaltes, des Glühverlustes (etwa gleichzusetzen der organischen Substanz), des Karbonat-, Phosphat- und Stickstoffgehaltes. Von einem Kern wurden außerdem Königswasseraufschlüsse für Schwermetallanalysen sowie Aufschlüsse für Pollenanalyse (Acetolyse und HF-Aufschluss) und Diatomeenpräparate angefertigt.

2. Untersuchungsgebiet

Der 0,0374 km² große Rachelsee liegt in 1071 m ü. NN in der NO-Ecke des 1969 geschaffenen Nationalparks Bayerischer Wald (Abb. 1). Er hat ein Einzugsgebiet von ca. 2 km² und eine maximale Wassertiefe von 13,5 m. Er ist ein eiszeitlich geformter Karsee, der talwärts zusätzlich durch einen Moränenwall aufgestaut ist. Daher ist sein Seebecken gegliedert in die hintere, tiefere Karmulde, die von der 300 m aufragenden Karwand begrenzt wird, und den vorderen, flachen Zungenteil. Abb. 2 stellt eine vereinfachte Isobathenkarte des

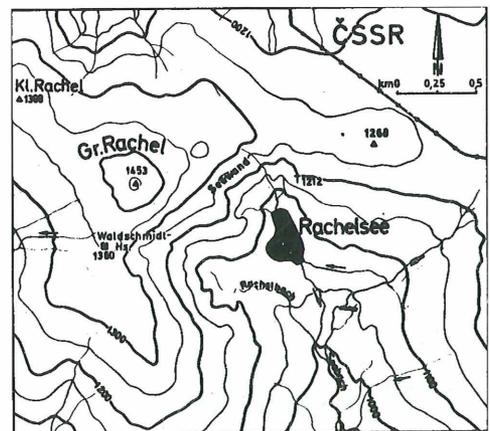


Abb. 1: Lagekarte des Rachelsees, einem der sieben noch nicht verlandeten, glazial geformten Karseen des Bayerischen Waldes/Böhmerwaldes

Rachelsees dar. Der Rachelseegletscher war einer der beiden Gletscherströme, die vom Rachel ausgingen, und setzte sich aus zwei Teilgletschern zusammen. Der östliche Eisstrom kam aus der Rachelseewand und schürfte das Rachelsee-becken (zentral in Abb. 2 mit den Kernentnahmestellen), der westliche Strom kam aus dem Kar östlich des heutigen Waldschmidthauses. Dieser bildete den „Alten See“ und den „Stausee“, die beide heute vermoort sind (HAUNER 1980). Als Beweis dafür, dass sich beide Gletscherströme zu einer gemeinsamen Zunge vereinigt haben, gilt die unterste, in ca. 810 m ü. NN und rd. 1400 m vom Abfluss des Seebaches aus dem Rachelsee talwärts gelegene Entmoräne, die sich in der linken äußeren, 15-20 m hohen Seitenmoräne fortsetzt. Innerhalb dieses äußeren Moränenkranzes des weitesten Gletschervorstoßes sind während des „Rückzuges“ in dichter Folge Stadialmoränen entstanden. Während eines noch späteren Rückzugsstadiums zerfiel der Gletscher wieder in zwei Zungen: die östliche schuf das vordere Moränenbec-

ken des Rachelsees. Abb. 3 zeigt ein Profil durch das Kar-becken des Rachelsees, der im SSE (in Abb. links) zusätzlich durch diese Moräne abgedämmt wird. Das ca. 2 km² große Einzugsgebiet des Rachelsees ist vorwiegend aus Graniten und Gneisen sowie deren Verwitterungsprodukten aufgebaut (= „kristallines“ Einzugsgebiet), was aufgrund der fehlenden pH-Pufferung durch Karbonate erhebliche Konsequenzen für fast alle Stoffumsetzungen hat. Das Klima ist rauher als es der Höhenlage entspräche. Der große Schneereichtum (in den Kammlagen bis zu 3 m) ist auf die pendelnde Grenzlage zwischen maritimen und kontinentalen Einflüssen zurückzuführen. Im Sommer liegt das Gebiet häufig im Stau der von Westen auflaufenden Fronten und wird zusätzlich durch Vb-Wetterlagen mit Niederschlag versorgt. Aus diesem Großklima lassen sich klimatische Kleinformen herausgliedern, die sich aus den unterschiedlichen Geländeformen und Expositionsunterschieden im Höhenbereich zwischen 700 m und 1450 m ergeben.

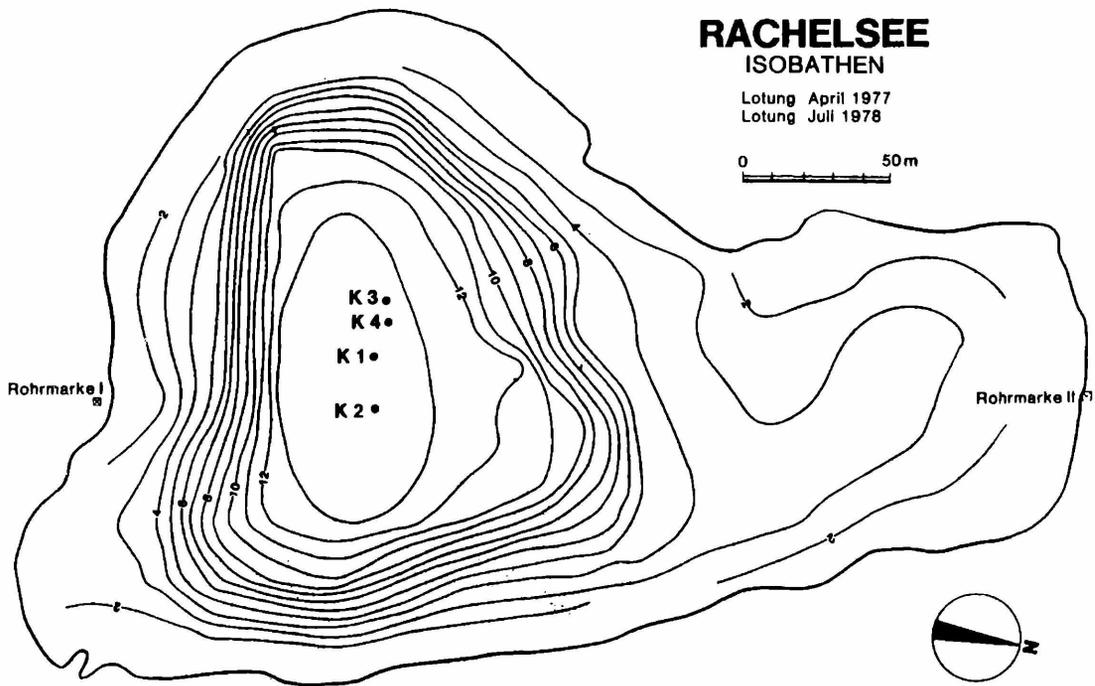


Abb. 2: Isobathenkarte des Rachelsees (vereinfacht mit den Kernentnahmestellen K1 bis K4)

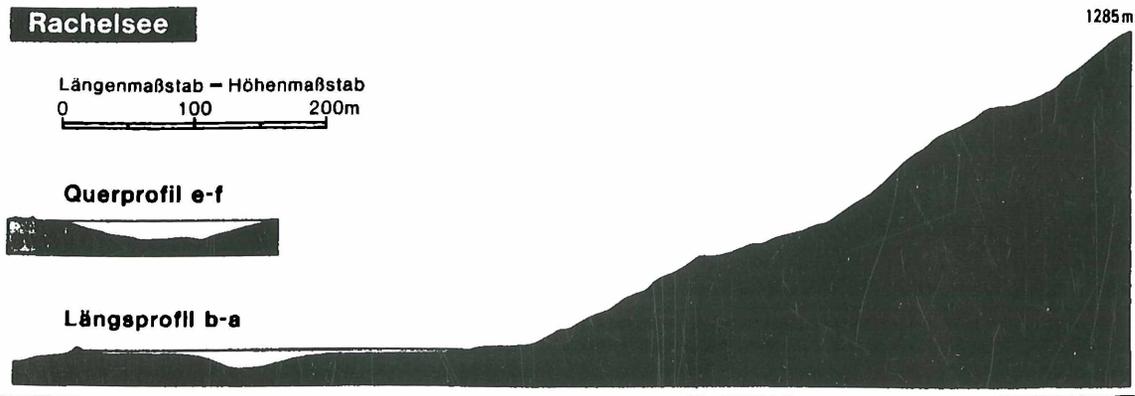


Abb. 3: Profil durch das Karbecken des Rachelsees, der im SSE zusätzlich durch eine Moräne abgedämmt wird

Der Rachelsee selbst wird permanent durch 2 Bäche gespeist, die im Bereich der Seewand einmünden. Nach stärkeren Regenfällen enthält er zusätzlich Wasser aus mehreren kleinen Rinnen rund um den See und aus 2 ehemaligen Triftnälen, von denen der eine am westlichen Ufer, der andere am SE-Ufer einmündet. Die Entwässerung erfolgt über den Seebach. Die unterirdische Speisung spielt wegen der geringen Grundwasserspeicherkapazität des Gesteins eine untergeordnete Rolle (BAUBERGER 1977).

Nach MÖLLER (1955) sind die Karseen des Bayerischen Waldes und ihre Gegenstücke auf der tschechischen Seite (Teufelsee, Schwarzer See) als „nährstoffarme Braunwasserseen“ anzusprechen, d.h. sie sind „dystrophe Seen“ mit niedrigen pH-Werten, einer braunen Farbe des Seewassers, Nährstoffarmut und einem Abdampfdruckstand < 50 mg/l. Mit einem pH-Wert um 4,5 zählt der Rachelsee zu den sauren Oberflächengewässern. Diese hohe Konzentration an Wasserstoffionen ist das Ergebnis komplexer Wechselwirkungen zwischen (leicht saurem) Niederschlag und Kalkarmut (daher Mangel an Basen und Puffersubstanz) im Einzugsgebiet. So weisen alle Quellen am Osthang des Gr. Rachel einen sauren pH-Wert auf (bis pH 3,9 bereits 1977 BAUBERGER). Die Sichttiefe in stark versauerten Gewässern wie dem Rachelsee ist – sofern sie nicht sehr humushaltig sind – stark erhöht (10-12 m) und erweckt den Eindruck eines sehr sauberen (wenngleich fast toten Gewässers).

3. Altersdatierung

Zur Datierung von Sedimentkernen steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, doch leider sind davon in der Praxis häufig nur wenige hinreichend brauchbar. Zur Datierung von Kernen aus dem gesamten Spät- und Postglazial bieten sich die Radiokarbonmethode (¹⁴C-Messung), Pollenanalyse, geomagnetische Messung und stratigraphische Vergleiche an. Für die letzten paar Jahrhunderte bzw. –jahrzehnte stehen außerdem die ²¹⁰Blei-Methode und die ¹³⁷Cäsium-Methode sowie historische (archivarische) Hinweise zur Verfügung.

Pollenanalyse ist die wichtigste paläoökologische Technik. Sie liefert uns Erkenntnisse zur Biostratigraphie und gestattet eine Datierung. Außerdem lässt sich damit die lokale und regionale Paläo-Umwelt mehr oder minder gut beschreiben.

Die taxonomische Nomenklatur im nachfolgenden Pollendiagramm, gewonnen aus dem Kern 3 des Rachelsees, folgt internationalen Standards. Die Pollenbestimmungen wurden von M. Rösch, einem erfahrenen Palynologen, erstellt. Die Proben wurden am Inst. f. Geographie d. Univ. München mit den üblichen Verfahren (Acetolyse mit anschließender Flussssäurebehandlung) erstellt. FIRBAS (1949) Gliederung wurde zur Klassifizierung der Vegetationsentwicklung seit dem Spätglazial und zur Datierung der Sedimentlagen herangezogen. Die Prozentangaben basieren auf der Summe der Baum- und Nichtbaumpollen in den Proben. Sporen und

mikroskopische Reste werden ebenfalls in Prozent der Baum- und Nichtbaumpollen ausgedrückt.

Der Kern (0-289 cm) umfaßt die folgenden Zeitabschnitte des Spät- und Postglazials (gemäß der Gliederung nach FIRBAS 1949):

Spätglazial (> 10200 BP):

Älteste Dryas, Bölling, Ältere Dryas, Alleröd, Jüngere Dryas: > 12300 Jahre BP (before present = vor heute) - 10200 Jahre BP.

Hauptsächlich Tundra mit Gruppen von Kiefern und Birken. Die Zahl der Baumpollen (arboreal pollen) ist umgekehrt proportional zu den Nichtbaumpollen (nonarboreal pollen/NAP) und Sporen, besonders zu den Graspollen (Poaceae) und zu Artemisia. Dieses Verhältnis trennt die kälteren Perioden (Älteste, Ältere und Jüngere Dryas, weniger Baum-, aber mehr Graspollen) von den wärmeren Abschnitten (Bölling, Alleröd, mehr Baumpollen).

Praeboreal (10200-10500 BP)

Der Anteil der Baumpollen steigt auf 95%, hauptsächlich Pinus und Betula. Die Zunahme von Betula geht mit einer Abnahme von Pinus einher. Graspollen nehmen ab, Polypodiaceae (Farne) zeigen einen leichten Anstieg. Eine Zunahme von Corylus (Hasel) ist ebenfalls zu beobachten, der Maximalwert von beinahe 50% markiert den Übergang vom Praeboreal zum Boreal.

Boreal (8800-7500 BP)

Charakterisiert durch die rapide Zunahme von Corylus zeigt dieser Abschnitt auch eine ziemlich abrupte Abnahme von Pinus und das erste Auftauchen von Picea (15%) und Abies (ca. 2%). Außerdem weisen kleinere Vorkommen von Ulmus, Fraxinus und Quercus auf eine dichtbewaldete Umgebung und auf bessere oder sogar optimale Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse hin. Diese Aussage wird noch durch das völlige Fehlen von Graspollen unterstützt..

Atlantikum (7500 BP-4500 BP)

Dieser Zeitabschnitt zeichnet sich durch einen kontinuierlichen Anstieg von Fagus sylvatica auf bis zu 30% am Ende des Atlantikums aus, begleitet von einer bemerkenswerten Anzahl von Ulmus, Tilia, Fraxinus, Quercus und Alnus., wohingegen Corylus-Pollen (als Indikator für trockene und warme Klimate) abnehmen. Farne (Polypodiaceae) und Gräser treten auch auf, aber auf relativ geringem Niveau. Dieses warme und feuchte Klima wird auch als das holozäne Klimaoptimum bezeichnet (charakterisiert durch das Auftreten der höchsten Zahl an klimatisch anspruchsvollen Laubbäumen wie Tilia, Alnus, Quercus und Ulmus).

Subboreal (4500 BP-2500 BP) und Schutzgem. Bayer. Wald e.V. & Natu...

Dieser Abschnitt des Holozäns zeigt einen deutlichen Anstieg von *Abies*, *Alnus* und *Pinus* (gering), während die Zahl der *Picea*-, *Fagus*- und *Betula*- Pollen geringer ist. Die Farne (*Polypodiaceae*) nehmen bis auf 15% zu. Ein kleiner Anstieg von *Pinus* und *Abies* ist ein wenig klarer Hinweis auf das Klima des Subboreals (eher kontinental: warm, einige trockene Zeitabschnitte). Möglicherweise dokumentiert das Eindringen von *Alnus* in dieses höhergelegene Gebiet zu jener Zeit (warm, aber immer noch feucht genug) den allgemein angenommenen, mehr kontinentalen Charakter des Klimas.

Subatlantikum (2500 BP - heute)

Der ältere Abschnitt des Subatlantikums (IX nach FIRBAS) zeichnet sich in Mitteleuropa durch eine Ausbreitung der Buchenwälder (*Fagus*) aus mit eindringender Hainbuche (*Carpinus*) oder der totalen Dominanz von Buchen-Tannen-Hainbuchenwäldern, aufgezeigt von FIRBAS (1949) und für die böhmische Region beschrieben von BRIZOVA (1993). Dieser hohe Anteil von Buchenpollen (30%) wird auch durch das Pollenspektrum vom Rachelsee dokumentiert. Natürliche Waldgesellschaften scheinen noch bis etwa zum 13. Jh. zu existieren (BRIZOVA 1993). Dieser Abschnitt des Älteren Subatlantikums ist daher von großer Bedeutung, sobald die natürliche Vegetation des Gebietes rekonstruiert werden soll. Ein bemerkenswerter Anteil von Farnen (*Polypodiaceae*), eine Zunahme von Fichte (*Picea*) von 15 auf 25%, eine Abnahme der Birke (*Betula*) und ein leichter Anstieg von Graspollen charakterisieren den obersten jüngsten Teil des Sedimentkerns (Jüngerer Atlantikum nach FIRBAS). Das Auftauchen von *Plantago lanceolata* in einer Sedimenttiefe von 38 cm ist ein Hinweis auf nahegelegene Weiden. Die ebenfalls auftretenden Getreidepollen und Ruderalpflanzen-Pollen wie *Secale cereale*, *Humulus*, *Rumex* und *Urtica* („synanthropic vegetation“) zeigen einen Polleneinflug von kultivierten Flächen in den Tälern oder von den in die dortigen Bergwälder gerodeten Hochlagen-Weiden („Schachten“) an, begleitet von einer Abnahme der Pollenkörner von typischen Waldpflanzen – beide Phänomene können als ein Zeichen für den zunehmenden Einfluss des Menschen auf die Natur der Region gewertet werden. Die Beweidung der Hochlagen (Jungvieh, besonders Jungochsen im Sommer innerhalb der Wälder („Waldweide“) zwischen 800-1100 m ü. NN und auf Waldlichtungen, den sogenannten „Schachten“, begann vermutlich im 15. Jh. Die Zunahme der Pollen von z.B. *Plantago lanceolata* im Seesediment zu dieser Zeit dürfte eine Folge davon sein.

Die vorgestellte Pollenanalyse ist zwar nicht detailliert genug, um eine befriedigende Rekonstruktion der Vegetationsentwicklung und der Prähistorik in diesem Gebiet zu ermöglichen (Probendichte und die Zahl der bestimmten Pollen pro Probe müssen erhöht werden), bietet aber die Möglichkeit zu hinreichend verlässlichen zeitlichen Einordnung des Sedimentkerns.

4 Beziehung Wasserkörper - Sediment - Umgebung

Die Bohrkern aus dem Rachelsee spiegeln also mindestens 12000 Jahre Sedimentationsgeschichte wider und reichen damit bis weit vor die Entstehung unserer Zivilisation. Daher ermöglichen derartige Bohrkern u.a. eine Abschätzung des natürlichen Stoffumsatzes („präzivilisatorischer Background“) und des zunehmenden menschlichen Einflusses („human impact“) im See selbst und in dessen Einzugsgebiet.

4.1 Charakterisierung des Sediments

Die Sedimentkerne 3 u. 4 aus dem Rachelsee (Kern 1 u. 2 wurden - da kürzer - nicht untersucht) lassen sich grob in zwei Abschnitte gliedern:

0-80 cm Sedimenttiefe: schwarzbraun, sehr plastisch, hoher organischer Anteil

0-10 cm: Limnopsophohumit mit unzersetzten Nadeln u. Blättern

10-180 cm: Grobdetritusmudde, gefolgt von Feindetritusmudde, fein, schwarz schmierig, H₂S-Geruch

180-240 cm Übergangsbereich: schwarz-braun

ab 240 cm Limnominerit (Seeton, Seeschluff, graubraun)

Von der Sedimentoberfläche bis ca. 200 cm ist der Wassergehalt des Sediments von 85-90% sehr hoch (Abb. 4).

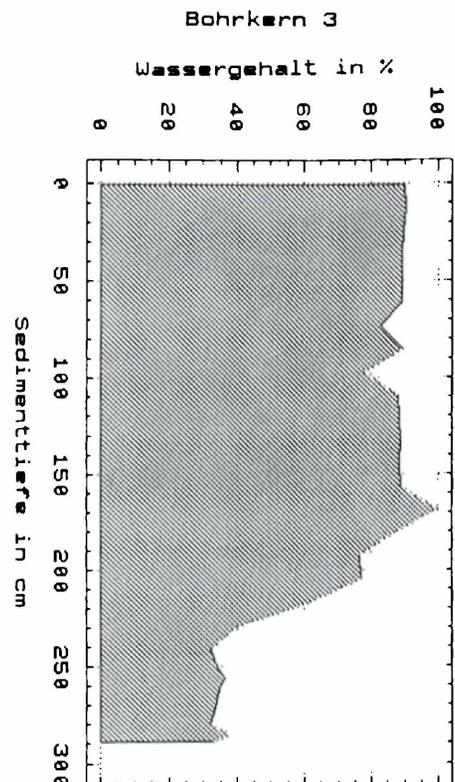


Abb. 4: Wassergehalt in Sedimentkern 3

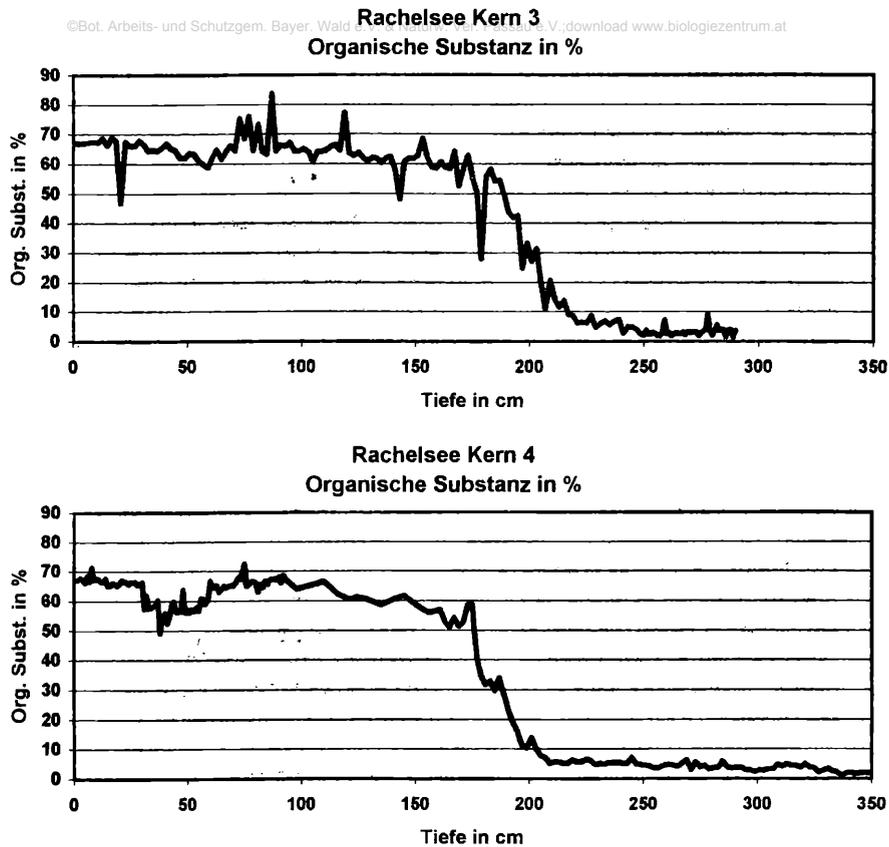


Abb. 5: Glühverlust (entspricht etwa dem Gehalt an organischer Substanz) von Kern 3 und 4

Dadurch ist vermutlich ständig Kontakt des Sedimentwassers im oberen Sedimentabschnitt mit dem Profundalwasser gegeben und damit die zeitliche „Trennschärfe“ der Aussagen über das Sediment möglicherweise nicht so gut, wie sie wünschenswert wäre. Von etwa 240 cm bis zum unteren Kernende (=Spätglazial) schwankt der Wassergehalt zwischen 30-40%. Zwischen Wassergehalt und Glühverlust besteht eine enge Beziehung. Je organischer das Sediment, desto höher ist der Wassergehalt.

4.2 Glühverlust

Der Verlauf der Glühverlustkurven der beiden Kerne in Abb. 5 ist sehr ähnlich. Vom Kernende bis ca. 250 cm überwiegt der mineralische Anteil vollkommen, der Glühverlust (=ca. organ. Substanz) schwankt zwischen 3-5%. Dieser Bereich ist dem Spätglazial zuzuordnen. Die Durchschnittstemperaturen lagen damals um ca. 5-7°C niedriger als heute. Das nahezu vegetationsfreie, durch die Arbeit des Eises schuttbedeckte Gelände lieferte viel anorganischen Eintrag in den See (Schwebstoff + Geschiebe). Die leichte Zunahme der organischen Substanz ab 250 cm Sedimenttiefe entspricht laut Pollenanalyse bereits dem Praeboreal der Nacheiszeit. Die kleinen Peaks der Zunahme des Glühverlustes bei ca. 260 u. 280 cm auf knapp 10% könnte den kurzen Erwärmungsphasen Bölling und Alleröd zuzuschreiben sein. Im Anschluß an 210-220 cm erfolgt eine stetige Zunahme des

Glühverlustes während des Präboreals hin zum Boreal, der postglazialen „Frühen Wärmezeit“, die in ca. 185 cm Sedimenttiefe beginnt. Bis zum Höhepunkt der postglazialen Wärmezeit, dem Atlantikum, steigt der organische Anteil (von 165-100 cm) bis zu 80% an. Vereinzelt Minimumwerte der organischen Substanz (=Glühverlust), die in präborealen und borealen Schichten, z.T. auch später noch auftreten, sind wahrscheinlich durch Rutschungen oder besondere Abflusereignisse (Starkregen) zu erklären, wodurch die autochthone limnische Sedimentation (organisch) durch allochthone Zufuhr anorganischen Sediments „verdünnt“ wurde. Kern 4 weist mit Beginn des Subatlantikums eine derartige Zunahme des mineralischen Anteils auf, die in Kern 3 nur angedeutet ist.

4.3 Karbonat, Stickstoff u. Phosphor

Da bei der Karbonatbestimmung nach Scheibler neben der CO₂-Entwicklung auch andere Gase, z.B. Schwefelwasserstoff, gemessen werden, dürften der H₂S-Gehalt des Sediments für die unstimmgigen und stellenweise zu hohen Karbonatgehalte (Abb. 6) verantwortlich sein. Beim Stickstoffeintrag (Abb. 7) spielt wahrscheinlich das Fallaub, das aus dem Einzugsgebiet eingespült oder eingeweht wird, eine Rolle. Zwischen 250-150 cm, also vom Präboreal bis zum Atlantikum, hat sich mit der allmählichen Temperaturerhöhung die Vegetationsdichte vergrößert, mehr autochthone Biomasse

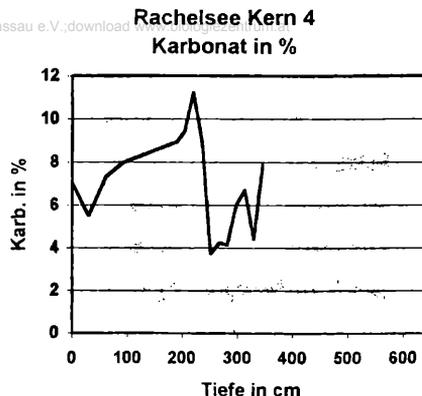
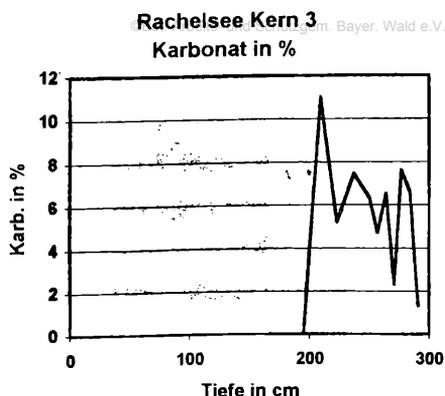


Abb. 6: Karbonatgehalt im Sediment des Rachelsees

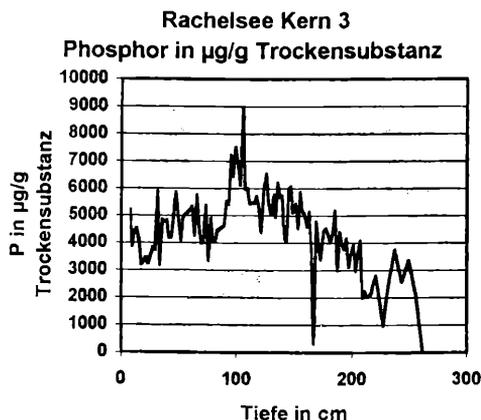
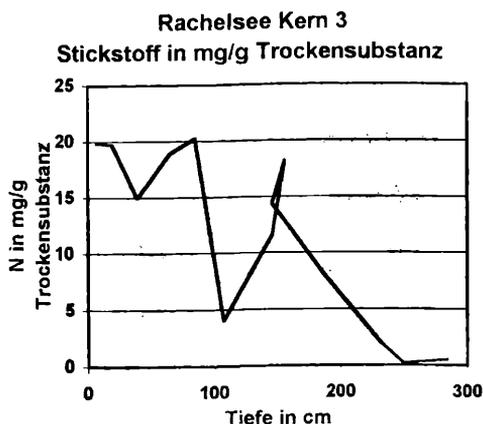


Abb. 7: Stickstoffgehalt und Phosphor in Kern 3 des Rachelsees

in den See gespült, aber auch autochthon aus dem limnischen Plankton sedimentiert. Die Abnahme des N-Gehaltes zwischen 160-105 cm könnte durch erhöhten Verbrauch von Nitrat für das Pflanzenwachstum während des Atlantikums („Klimaoptimum“) erklärt werden, was zunächst zu einem Stickstoffdefizit führte. Das kräftige Pflanzenwachstum bis zum Höhepunkt des Atlantikums (Eichenmischwaldzeit) lässt sich mit der kräftigen Stickstoff-Zunahme zwischen 105-80 cm korrelieren.

Im Gegensatz zum Stickstoff-Kreislauf, der auch eine Gasphase beinhaltet, ist der Phosphor-Kreislauf (Abb. 7 u. Abb. 8) auf Verbindungen im festen und flüssigen Zustand beschränkt. Der größte P-Vorrat liegt in den P-führenden Gesteinen, wie z.B. Apatit (ein häufiges Mineral im ostbayerischen Grundgebirge), gebunden vor. In natürlichen Gewässern ist der Kreislauf der verschiedenen Phosphorformen abhängig von der Temperatur, der Sauerstoff-Konzentration und dem pH-Wert des Wassers sowie vom Eisen-, Mangan- und Aluminium-Gehalt im Sediment. Im sauren Milieu - wie dem des Rachelsees - geht der Phosphor mit den im Sediment vorhandenen Hydroxiden dieser Metalle ziemlich rasch in eine schwermobilisierbare Form über. Die dabei entstehenden Fe-, Mn- und Al-Phosphate werden im Sediment abgelagert. Da der Rachelsee an der Sedimentoberfläche einen sauren pH aufweist und im Freiwasser ein gerin-

ger Phosphor-Gehalt vorliegt, ist eine adsorptive Bindung des Phosphors an hydratisierte Metallhydroxide sehr wahrscheinlich. Das bedeutet, dass auch im Rachelsee Phosphor der wachstumsbegrenzende Minimumfaktor ist. Neben Gesamtphosphor finden sich in Abb. 8 auch die Kompartimente anorganisch gebundener und organisch gebundener Phosphor. Der organisch gebundene Phosphor ist - dem hohen Gehalt an organischer Substanz entsprechend - über die ganze Kerntiefe größer als der anorganische.

4.4 Erdalkali- und Schwermetalle

Abb. 9 zeigt, daß die Ca-Gehalte im unteren, überwiegend mineralischen Kernabschnitt mit 2-3,2 mg/g am niedrigsten sind. In 115 cm Tiefe wird die maximale Konzentration von 11,5 mg/g erreicht. Da die Ca-Kurve und die Glühverlustkurve bis ca. 100 cm ähnlich verlaufen, haben vermutlich dieselben Bedingungen, die zur Steigerung der organischen Substanz führten, auch zur Erhöhung der Ca-Konzentration beigetragen. Durch die Temperaturerhöhung im Postglazial wird das durch die Frostverwitterung schon stark zerrüttete Gestein durch die chemische Verwitterung tiefgründig zersetzt, die Ca-haltigen Minerale aus dem Gestein ausgewaschen, gelöst und umgebildet. Der nicht von den Pflanzen

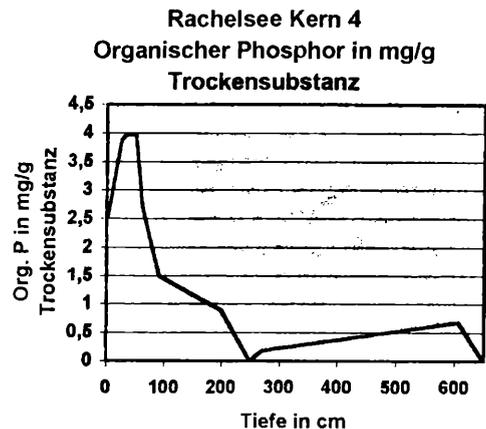
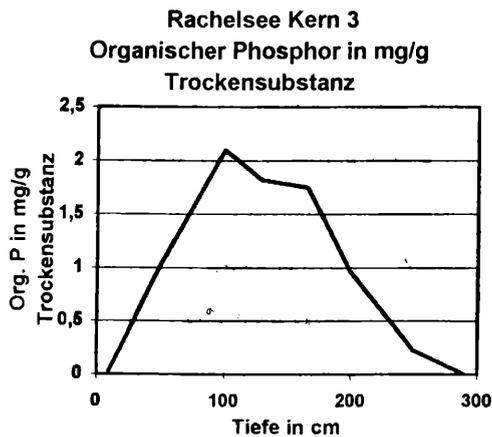
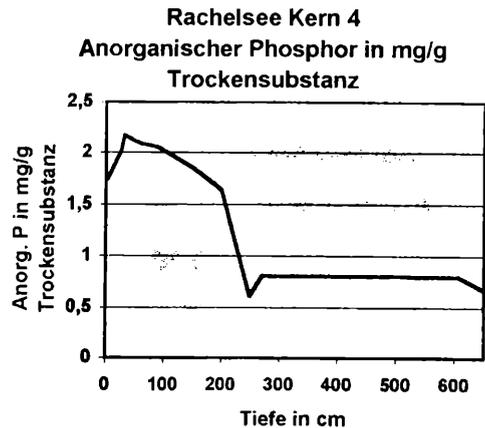
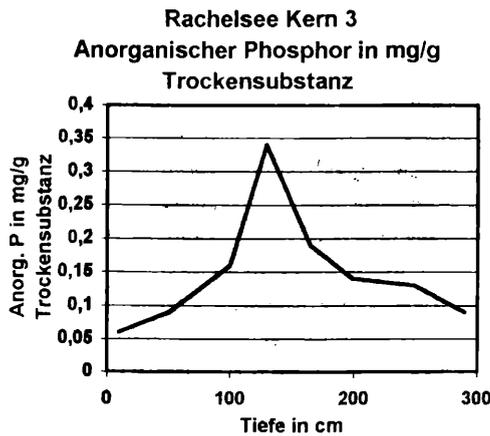
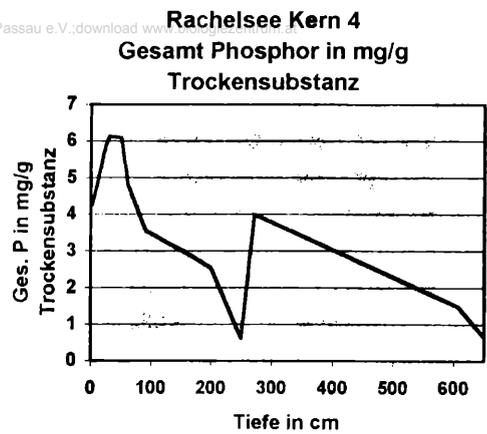
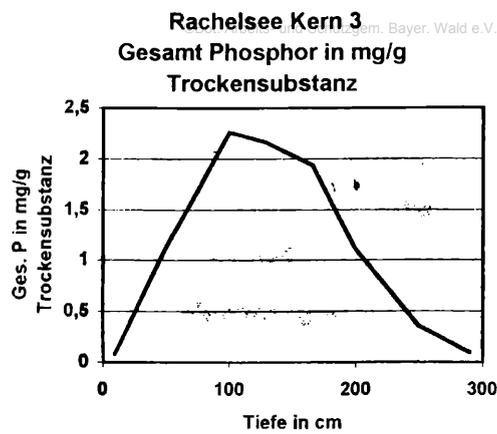


Abb. 8: Phosphatgehalt (Gesamtphosphor, anorganischer Phosphor und organischer Phosphor) in Kern 3 und 4 des Rachelsees

verbrauchte Anteil wird - besonders in sauren Böden - ausgewaschen und in die Oberflächengewässer transportiert. Dort wird das Calcium von den Organismen aufgenommen und mit der abgestorbenen organischen Substanz sedimentiert. Ähnliches gilt auch für das Magnesium, das im ostbayerischen Grenzgebirge durch mehrere Mg-Silikate vertreten ist. Allein um die 15% des von Pflanzen aufgenommenen Magnesiums dient dem Aufbau des Chlorophylls. Während in alkalischen Böden eine Ausfällung schwerlöslicher Erdalkalimetalle eintritt, ist die Mg- und Ca-Immobilisierung in

sauren Böden unbedeutend. Daher leiden saure Böden mit pH-Werten < 4 bei zunehmender Feuchtigkeit unter einem Mg- und Ca-Mangel durch Auswaschung. Die Mg- und Ca-Ionen liegen dabei in den Sickerwässern vorwiegend als Salze starker Säuren vor (Chloride, Nitrate, Sulfate), wobei das Mg weniger stark ausgewaschen wird als das Ca. Erstaunlicherweise sind die maximalen Mg-Konzentrationen im Sediment größer als die Ca-Konzentrationen. Die Mg-Maxima liegen allerdings im unteren (mehr mineralischen) Kernabschnitt des Spätglazials. Tatsächlich das Spätglazial die geeigneten

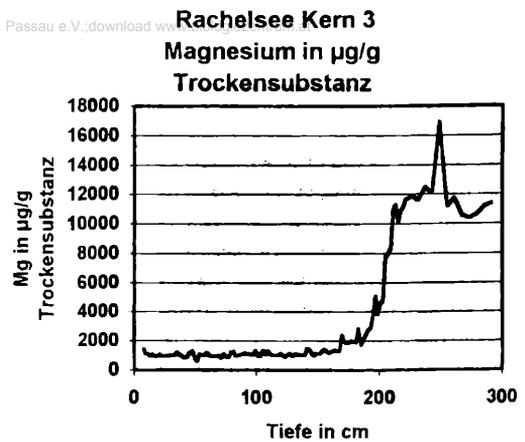
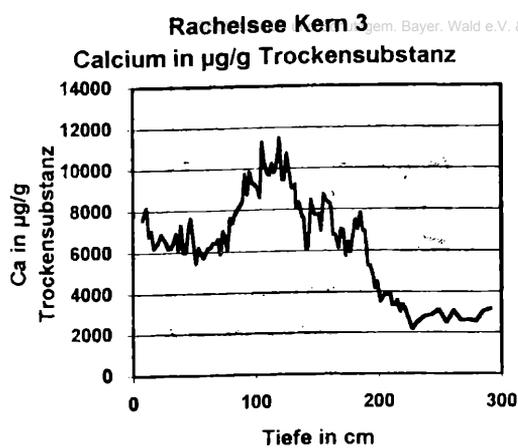


Abb. 9: Calcium- und Magnesiumgehalt in Kern 3 des Rachelsees

Bedingungen für einen überwiegenden Eintrag mineralischer Substanz: Die starke physikalische Verwitterung stellte Erosionsmaterial mit hohem Restmineralgehalt zur Verfügung. Diese vorwiegend mineralischen Verwitterungsprodukte wurden, zusammen mit den gebundenen Mg-Ionen, in den See verfrachtet. Im Zuge der postglazialen Temperaturerhöhung nahm die Wirkung der chemischen Verwitterung kräftig zu. Ca und Mg wurden als Ionen mobil und von der zunehmenden Feuchtigkeit ausgewaschen. Da die Auswaschung von Ca stärker ist als die von Mg, ist auch der Anteil des Calciums im postglazialen Sediment höher als der von Magnesium - im Gegensatz zu den Sedimenten im Spätglazial, in denen das Magnesium überwiegt.

4.5 Aluminium

Das Leichtmetall Aluminium - häufigstes Metall der Erdkruste - ist überwiegend in den Mineralen Bauxit ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$), Kryolith (Na_3AlF_6) und in verschiedenen Silikaten gebunden. In Wasser werden Al-Salze in schwerlösliche Al-Hydroxide umgebildet und ausgefällt, weshalb im Bodenwasser die Al-Konzentrationen im allgemeinen gering sind. Bei niedrigen pH-Werten nehmen diese aber zu. In der Al-Verteilungskurve (Abb. 10) ist - im Gegensatz zu Ca und Mg - kein Zusammenhang mit der organischen bzw. mineralischen Substanz erkennbar. Die höchsten Al-Konzentrationen sind im älteren Sedimentbereich bis ca. 160cm zu finden. Im übrigen ist die gesamte Verteilungskurve durch starke Schwankungen charakterisiert. Die leichte Abnahme im jüngeren Bereich könnte durch zunehmende Bodenversauerung bedingt sein, welche die Al-Hydroxide bereits terrestrisch im Boden ausfällt.

4.6 Schwermetalle

Schwermetalle sind durch eine Dichte von mindestens 6 g/cm^3 charakterisiert. Sie alle sind, wenngleich meist nur in geringen Mengen ($<0,1\%$, Fe 5%), in der Erdkruste vorhan-

den. Die meisten sind in geringen Konzentrationen als essentielle Metalle (Mo, Mn, Fe, Co, Cu, Zn) für den geordneten Ablauf biochemischer Prozesse unentbehrlich, in höheren Konzentrationen jedoch toxisch (FÖRSTNER 1974). Während diese essentiellen Metalle unerlässlich sind, verursachen die nichtessentiellen Metalle, wie z.B. Cd, Pb, Hg schon in geringen Mengen akute physiologische Störungen.

Zu den in der Natur vorliegenden Schwermetallgehalten kommt die anthropogene Belastung aus der industriellen Gewinnung von Metallen und Metallverbindungen und der Verbrauch bzw. Abnutzung von metallhaltigen Produkten (z.B. Bleialkyl-Zusätze in Treibstoffen). Nach dem Eintrag von Metallen (in der Regel Metallionen) in einen See liegen diese z.T. gelöst im Wasser, z.T. ungelöst im Sediment vor. Nach CHESTER (1987) lassen sich folgende Bindungsarten der Schwermetalle in Seesedimenten unterscheiden:

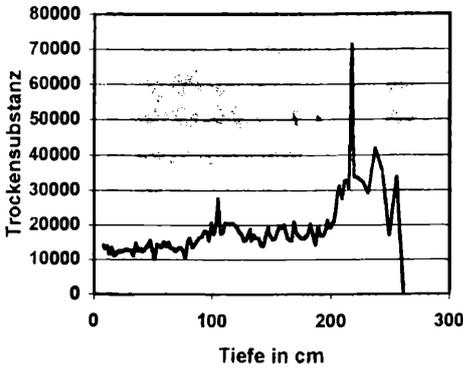
- a. Kationenaustausch und adsorptive Bindung an Oberflächen feinkörniger Partikel (insbesondere an Tonminerale, Fe- und Mn-Oxide, organische Substanzen).
- b. Bindung als Ko-Präzipitat in Fe- und Mn-Oxiden bzw. Hydroxiden; diese Verbindungen entstehen beim Zusammentreffen von Metallen mit Fe- und Mn-haltigen Lösungen unter aeroben Bedingungen
- c. Organische Bindung: das Schwermetall ist Spurenbestandteil von organischen Makromolekülen (Huminsäuren).
- d. Mineralische Bindung: Das Schwermetall ist in Mineralen inkorporiert (oxidische, sulfidische, karbonatische, sulfatische und silikatische Bindungen).

Eisen und Mangan

Als essentielle Spurenelemente sind Eisen und Mangan für alle Organismen unerlässlich. Unter oxidierenden Bedingungen erfolgt eine Ausfällung der Metalle mit anschließender Sedimentation, unter reduzierendem Milieu werden diese Fällungsprodukte wieder aufgelöst, und Fe sowie Mn mit den vorher sorbierten Metallen werden wieder in das Frei-

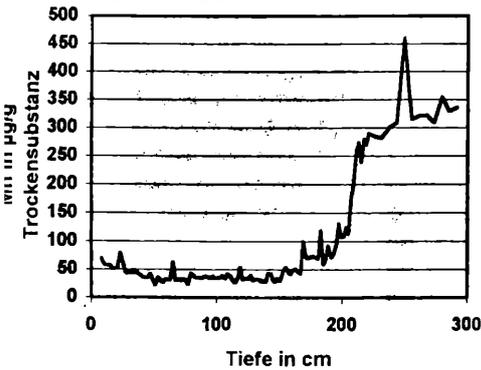
Rachelsee Kern 3

Eisen in µg/g Trockensubstanz



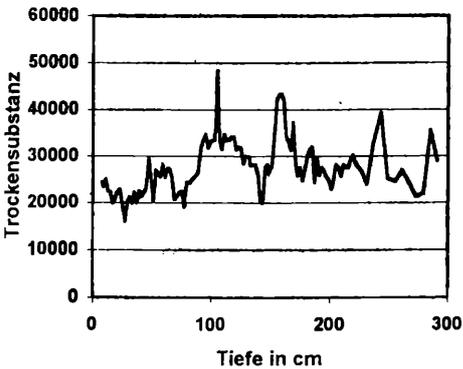
Rachelsee Kern 3

Mangan in µg/g Trockensubstanz



Rachelsee Kern 3

Aluminium in µg/g Trockensubstanz



Aluminium, Eisen und Mangan in Kern 3 des Rachelsees

ntlassen. Der Großteil von Mn und Fe ist hydroxi-w. oxidisch und nur zu einem geringen Anteil organisch gebunden. Der Verlauf der Fe-Konzentrationskurve (Abb. 11) ist ähnlich dem der Mg-Kurve (Abb. 9). Hohen, mineralisch gebundenen Konzentrationen im Spätglazial gegenüber. Die relative Abnahme im Übergang vom organischen Sediment des Spätglazials zum organischen Sediment des jüngsten Kernabschnitts ist bei Mangan ausgeprägter als bei Eisen.

Kupfer

Kupferhaltige Minerale sind im Ausgangsgestein des ostbayerischen Grenzgebirges relativ selten. Der größte Teil des dennoch in geringen Mengen vorhandenen Kupfers ist mineralisch und oxidisch gebunden (4. u. 2. Bindungsart nach GIBBS). Kupfer ist unerlässlich für die enzymatische Stoffwechselfähigkeit der Algen. Erwartungsgemäß liegen die absoluten Cu-Konzentrationen im Sediment relativ niedrig. Über die gesamte Sedimenttiefe sind starke Schwankungen erkennbar (Abb. 11). Man kann den Konzentrationsverlauf grob in drei Abschnitte gliedern: relativ hohe Werte im Spätglazial, etwas geringere Werte im frühen und mittleren Postglazial und noch etwas niedrigere Werte im jüngsten Kernabschnitt.

Nickel

Die Nickel-Belastung hat seit Beginn des Industriezeitalters – bedingt durch die steigenden Emissionen von Dieselöl-, Schweröl- und Kohleabgasen – zugenommen. Da es als Ni-Carbonyl schon in geringeren Mengen kanzerogen wirkt, gehört es zu den besonders gefährlichen Schwermetallen (FÖRSTNER et al. 1974). Wie Abb. 11 zeigt, kommt Nickel im Sediment mengenmäßig etwa in gleicher Größenordnung vor wie Kupfer, ebenso zeigt der Konzentrationsverlauf große Ähnlichkeit mit Kupfer und dem Mg-, Fe- und Mn-Verlauf. Höheren Werten im Spätglazial mit seinen mineralischen Sedimenten stehen geringere in den organischen Sedimenten des Postglazials gegenüber. Ab 15cm Sedimenttiefe nehmen die Konzentrationen für Cu und Ni nach oben hin wieder leicht zu, doch ist dieses Phänomen nicht sonderlich ausgeprägt und kann nicht sicher einer anthropogenen Belastung zugeschrieben werden.

Zink, Blei und Cadmium

Blei gehört zusammen mit Zink und Cadmium zu den „Umweltgiften“. In den kristallinen Gesteinen des Bayerischen Waldes gibt es normalerweise nur geringe Pb-Konzentrationen (die sulfidischen Erze z.B. um Bodenmais ausgenommen), weshalb es auch in den mineralischen Sedimenten des Spätglazials mit rund 20 mg/kg (entspricht etwa dem Tongesteinsstandard) vergleichsweise wenig vertreten ist. Leichte Zunahmen finden sich dann im zentralen Abschnitt des Postglazials. Ein extremer Anstieg bis zu einem Maximum von 130 mg/kg ist schließlich in den obersten 30 cm des Sediments zu beobachten. Diese signifikante Anreicherung lässt sich nur schwer mit Veränderungen von „Blei-Lieferanten“ im nur 2 km² großen Einzugsgebiet erklären. Ähnliches – wenngleich bei weitem nicht so gravierend und eindeutig – gilt für Cadmium. Die Verteilungskurve verläuft, abgesehen von einzelnen Peaks, die wohl als „Ausreißer“ einzustufen sind, bis 30 cm relativ konstant mit Schwankungen zwischen 0,5-2 mg/kg. Die Anreicherung zwischen 190-180cm Tiefe kann als gesichert gelten, da hier mehrere benachbarte Proben – wie auch die Pb-Werte – ähnliche Anreicherungen aufweisen. Wie beim Pb erfolgt auch beim Cadmium ab etwa 30 cm Tiefe eine Anreicherung zur Sedi-

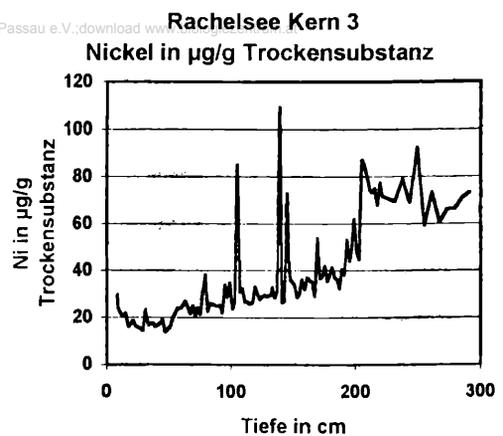
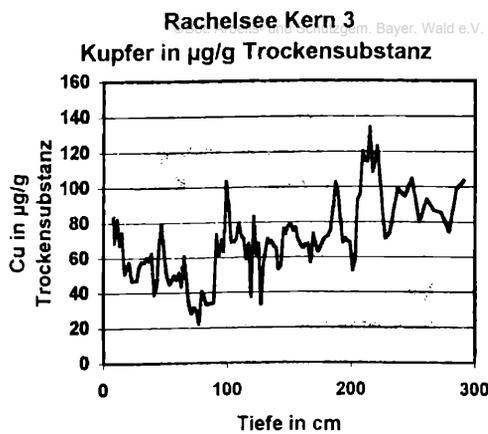


Abb. 11: Kupfer und Nickel im Kern 3 des Rachelsees

mentoberfläche hin, allerdings in weitaus geringerem Ausmaß und durch weniger Proben gesichert. Die Konzentrationen steigen dabei von etwa 1 mg/kg auf 3,5 mg/kg. Die gemessenen Werte decken sich mit denen aus vielen anderen Seen Südbayerns, aber auch mit anderen Seenregionen der Erde (Nordamerika, Skandinavien) und weisen auf eine anthropogene Schwermetallimmission hin.

Der Anstieg zur Sedimentoberfläche setzt beim Zink – im Vergleich zu Cd und Pb – am spätesten ein. Dies ist nicht gerade typisch für unsere Seen, in denen sonst von den drei Haupt“pollutants“ Zink, Blei und Cadmium das Zink in der Regel sehr viel früher angereichert wird. Wie bei Pb und Cd spielt auch bei Zink der Transport durch Flugasche eine Rolle. Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe gelangt zunehmend mehr schwermetallhaltiger Staub in die Atmosphäre. Mit der Flugasche werden so vor allem Zn, Pb und Cd über weite Strecken transportiert, im Sediment mit dem trockenen und nassen Niederschlag abgelagert und angereichert. Der atmosphärische Eintrag von Schwermetallen aus entfernten Industrie- und Wohnräumen konnte in vielen Sedimenten nachgewiesen werden (z.B. in Ostseesedimenten) (FORSTNER et al. 1974).

5 Palökologische Ergebnisse

Änderungen des Klimas können das Gleichgewicht des Stoffflusses zwischen Einzugsgebiet, Wasserkörper und Sediment stören. Während der von den Bohrkernen erfassten rd. 12000 Jahre haben des öfteren klimatische Änderungen auch Veränderungen im Einzugsgebiet, im Wasserkörper und damit auch im Sediment bewirkt.

Folglich lässt sich der Sedimentkern in verschiedene Abschnitte mit unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen unterteilen. Die Älteste Dryas, die von den Schichten bis ca. 267 cm repräsentiert wird und bis ca. 12300 v. Chr. andauerte, war gekennzeichnet durch arktisches Klima mit Tundravegetation (Älteste baumlose Tundrenzzeit). Der spärliche Pflanzenbewuchs konnte des Einzugsgebiet des Sees nicht genügend vor der damals starken glazifluvialen und

glazialen Erosionstätigkeit schützen. Die überwiegend physikalische Verwitterung stellte scharfkantigen Blockschutt und feinen Grus zur Verfügung. Als Folge wurde in den See vorwiegend mineralische Substanz eingeschwemmt, deren organischer Anteil nur zwischen 0-5 % liegt. Von den nichtmetallischen Nährelementen Stickstoff und Phosphor liegt letzterer – wegen seiner Bindung an phosphatführende Gesteine in höherer Konzentration vor als der Stickstoff, dessen Anreicherung vom Auftreten bestimmter Mikroorganismen abhängt, die den Luftstickstoff zu binden vermögen.

Die metallischen Nährelemente zeigen insgesamt eine gegenläufige Entwicklung. Während das Ca im Spätglazial seine niedrigsten Gehalte aufweist, nehmen die Mg-Konzentrationen Höchstwerte an. Dies könnte in einem insgesamt höheren natürlichen Mg-Gehalt des örtlichen Gesteins begründet sein, aber auch auf selektiven Verwitterungs- und Transportvorgängen beruhen.

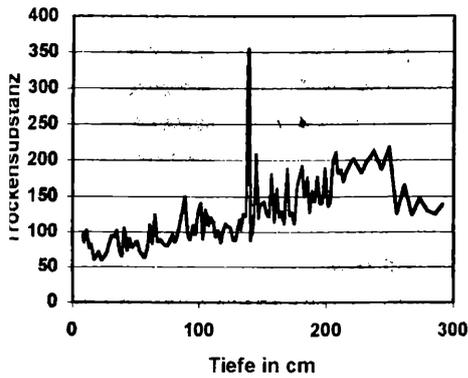
Alle Schwermetalle außer Pb und Cd liegen im Spätglazial in ihren höchsten Konzentrationen vor. Durch die schwache chemische Verwitterung im Spätglazial wurden die Metallionen nicht aus dem Gesteinsverband herausgelöst und daher mit dem unverwitterten bzw. nur schwach verwitterten Gesteins„mehl“ in den See transportiert. Ihr Konzentrationswert kann also als „anorganischer Background“ angesehen werden.

Der folgende Zeitabschnitt bis zum Präboreal brachte eine geringe Temperaturerhöhung in der Bölling- und Alleröd-Zeit (unterbrochen von den Kälterückfällen der Älteren und Jüngeren Dryas). In die baumlose Tundra wanderten erste Birken- und Kiefernbaume ein. Im Alleröd war die Bewaldungsdichte schon relativ groß, die Waldlücken wurden von Sträuchern und Kräutern erfüllt. In der Jüngeren Dryas lichteten sich die Wälder jedoch erneut (STRAKA 1970). Mit der organisch

en Substanz nimmt auch der Gehalt an Huminsäuren im Boden zu, die Bodenlösung wird saurer, so dass trotz niedrigerer Temperaturen die chemische Verwitterung neben der physikalischen an Bedeutung gewinnt. Das bislang vorwiegend nur mechanisch aufbereitete Gestein wird allmäh-

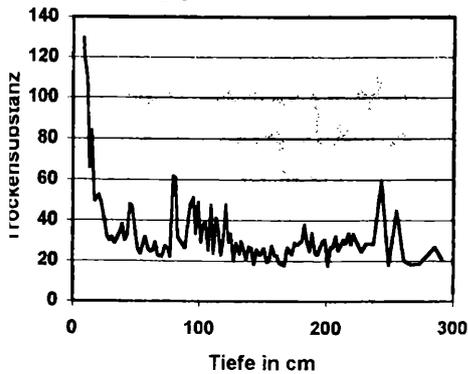
Rachelsee Kern 3

Zink in µg/g Trockensubstanz



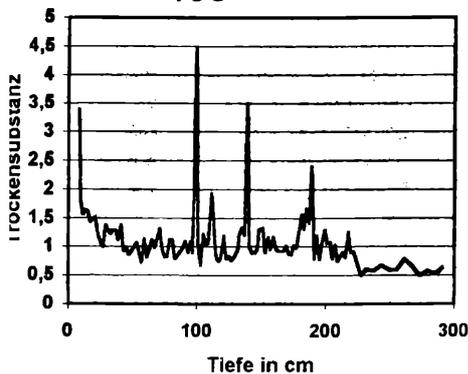
Rachelsee Kern 3

Blei in µg/g Trockensubstanz



Rachelsee Kern 3

Cadmium in µg/g Trockensubstanz



Zink, Blei und Cadmium im Sediment des Rachelsees

„gelöst“ Die im Gestein gebundenen Ionen werden und aus ihrem Verband herausgelöst und stehen den als Nähr- und Spurenstoffe zur Verfügung. Gleich- rde aber die Erosionstätigkeit durch die immer dichte Pflanzendecke gebremst.

durch die stärkere Gesteinsaufbereitung und die her- te Erosionstätigkeit nahm der Restmineralgehalt des ee transportierten Materials ab. Dies drückt sich, r Zunahme des Glühverlustes (d.h. des organischen

Anteils), in einer allgemeinen Abnahme der Schwermetallkonzentrationen aus (Pb und Cd ausgenommen). Bei den Nährstoffen P und N kommt es - entsprechend der verstärkten Mineralisierung - zu einer Anreicherung. Das Magnesium - gebunden an mineralische Sedimentation - nimmt jedoch ab.

Im ersten Zeitabschnitt des Postglazials, dem Präboreal, ist das Klima als kühlkontinental, im anschließenden Boreal als warm-trocken zu bezeichnen. Im Präboreal spielen zwar immer noch Birke und Kiefer die beherrschende Rolle, aber es siedeln sich bereits erste Ulmen, Eichen und Hasel an (STRAKA 1987). Die folgende Temperatur- und Feuchtigkeitszunahme bis zum Klimaoptimum drückt sich in der Kurve des Glühverlustes durch Maximalwerte aus. Das Klima hat sich vom kontinentalen zum ozeanisch feucht-warmen Klima gewandelt. Die mittlere Jahrestemperatur lag während dieses Klimaoptimums um 2-3° C höher als heute, damit auch die Baumgrenze.

Die mittlere Wärmezeit beginnt im Einzugsgebiet des Rachel-sees mit dem Höhepunkt der Eichenmischwaldzeit, wobei neben der Eiche auch Ulme und Linde mit Anteilen bis zu 8 % beteiligt sind. Erstmals tritt in dieser Zeit auch die Buche auf (HAUNER 1980). Auffallend ist, dass die Maximalwerte des Glühverlustes dieser Periode nicht in einer steten Kurve, sondern in einzelnen Peaks vorliegen (besonders in Kern 3). Dies könnte auf kühlere Perioden, aber auch auf besondere Ereignisse (Hochwässer u. ä.) hinweisen.

Die Abnahme des Ca-Gehaltes im Atlantikum (7500-4500 BP) könnte der Hinweis auf gestiegenen Nährstoffbedarf sein. Durch günstige chemische Verwitterungsbedingungen (bedingt durch Temperatur- und Feuchtigkeitszunahme und durch Zunahme organischer Säuren im Boden) liegen die Ca-Ionen frei in der Bodenlösung vor und können von den Pflanzen aufgenommen werden

Der Verlauf der Schwermetallkonzentrationen verdeutlicht, dass die Mineralstoffzufuhr aus dem Einzugsgebiet durch die dichter werdende Vegetation stark eingeschränkt wird. Die Konzentrationen zeigen eine fallende Tendenz oder Stagnation.

Das folgende Subboreal brachte eine leichte Klimaver-schlechterung mit sich. Das Klima ist als warm-trocken (kontinental) zu bezeichnen (SCHEFFER et al. 1976). Im Pol-lendiagramm wird das Subboreal als Buchen-Fichten-Phase bezeichnet, da hier bei beiden Bäumen Höchstwerte auftreten. Im jüngeren Subboreal beginnt die Tannenkurve langsam, aber stetig bis zu 10 % anzusteigen (HAUNER 1980). Die Bioproduktion nimmt, besonders in den trockeneren Phasen des Subboreals, ab, was sich deutlich in den Glühverlustkurven, besonders bei Kern 4, niederschlägt. Die Stick-stoffabnahme hinkt der Glühverlustabnahme etwas nach, dürfte aber auf diese zurückzuführen sein. Auch der Phos-phorgehalt nimmt - mit starken Schwankungen - ab.

Im anschließenden Subatlantikum, das etwa um 600 v. Chr. einsetzte, pendelte sich das Klima allmählich zum heutigen gemäßigt-humiden Zustand ein (SCHEFFER et al. 1976),

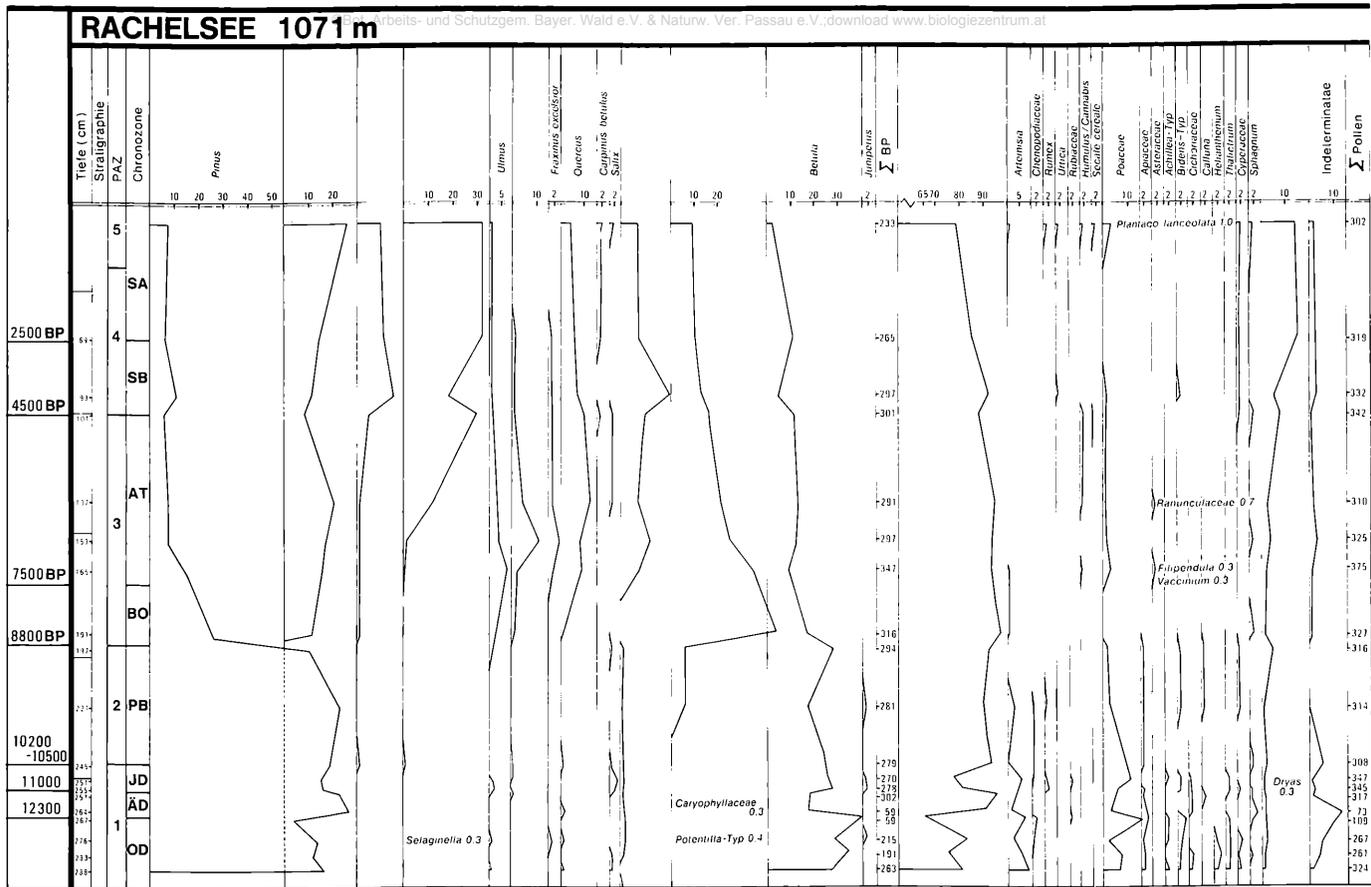


Abb. 13: Pollenanalyse des Kern 3 aus dem Rachee-See (OD = Älteste Dryas, ÄD = Ältere Dryas, JD = Jüngere Dryas)

in dem sich auch noch trockene und niederschlagsreiche Perioden, wenngleich „gemäßigt“, einander abwechseln. Die Tanne erreicht Anteile bis zu 30 % und Kiefer sowie Fichte breiten sich ebenfalls aus - auf Kosten der zurückgehenden Buche. Die Nährstoffelemente (N, P, Ca, Mg) zeigen einen mehr oder weniger starken Anstieg zur Sedimentoberfläche. Am frühesten setzt der Anstieg beim Ca ein, dann folgt N, P und schließlich Mg, dessen Konzentration seit dem Anfang des Präboreals auf einem Niveau geblieben war.

Bei allen Schwermetallen zeigt sich ab 20-30 cm Sedimenttiefe, bei Mn schon ab 50 cm, ein Anstieg zur Sedimentoberfläche hin. Diese Sedimentschichten sind der Zeit zwischen 500-1000 n. Chr. zuzuordnen. Für diese Zeit ist jedoch ein nennenswerter atmosphärischer Schwermetalleintrag noch nicht anzunehmen.

Die anthropogene Schwermetallbelastung dürfte erst ab dem 14. Jh. eine größere Bedeutung spielen, als im Bayerischen Wald Glashütten errichtet wurden. Gerade für die Herstellung der erforderlichen Pottasche (als Flussmittel) wurden ungeheure Holzmengen verbrannt: nur 0,05-1,5 % aus dem Volumen von 1 m³ Fichte oder Buche verblieben als Pottasche. Auch zur Beheizung der Schmelzöfen verwendete man Holz, doch wurde ein Vielfaches an Holz für die Pottaschegewinnung verbraucht (PLOCHMANN 1979). Beim Verbrennen des Holzes und beim Schmelzen des Sandes

wurden u.a. Schwermetalle in die Atmosphäre emittiert und in mehr oder weniger großen Mengen mit dem Niederschlag direkt oder aus dem Einzugsgebiet über die Zuflüsse in den See eingetragen.

Da aufgrund der geringen Sedimentationsrate die Kerne mit knapp 3 m Länge über 12000 Jahre umfassen, ist die zeitliche Auflösung gering. Zudem ist das stark organische Sedimentmaterial des Postglazials ausgesprochen wasserhaltig (z.T. über 90 %), so dass leider mit Diffusionsvorgängen gerechnet werden muss. Daher ist auch das stark flüssige Sediment nahe der Oberfläche durch die Probenahme mehr oder minder gestört oder sogar z.T. verlorengegangen, so daß die beobachtete Tendenz der Anreicherung von Schwermetallen leider nicht befriedigend die eigentliche Belastung des Sees widerspiegelt. Aus der Untersuchung von NIRSCHL (1983) sind wohl genauere Angaben über die letzten 300 Jahre zu entnehmen, da dieser nur einen Kern von 60 cm Länge gezogen hat, der sich jedoch senkrecht und daher relativ ungestört transportieren ließ.

Historisch belegt ist ein Bergbau in der Racheeewand im 18. Jh. (Magnetkies, Gold, Silber). Durch die Einleitung des Stollenwassers in den See nahm die mineralische Substanz sprunghaft zu (NIRSCHL 1983). Daneben kann es auch zu Anreicherungen verschiedener Metalle (NIRSCHL 1983). In den von uns gezogenen Kernen zeigt Kern 4 ebenfalls eine derartige Zunahme der mineralischen Substanz von 80-35 cm, nicht jedoch Kern 3, obwohl dessen postglaziale organi-

sche Sedimentationschicht etwas mächtiger ist als in Kern 4. Diese Tatsache zeigt sehr deutlich, dass es eben nicht genügt, nur einen - möglicherweise sogar nur kurzen - Kern zu entnehmen, selbst wenn die Kerne - wie bei Kern 3 und 4 - am nahezu identischen Ort entnommen wurden (Abb. 2). Zu groß sind die möglichen Variationen trotz der Annahme einer horizontal gleichmäßigen Schichtung!

Was die Veränderungen durch aktuelle Umweltbelastungen angeht, so wird zumindest deutlich, dass die Anreicherung der Schwermetalle Pb, Zn, Cu, Cd, Hg, Ni (bei NIRSCHL 1983 gemessen) und Fe nach 1900 auf starke zivilisatorische Einflüsse, direkte oder indirekte, im Einzugsgebiet zurückgehen muss. Diese Schwermetallanreicherungen sind primär auf die Säurezufuhr aus der Atmosphäre zurückzuführen. Durch die pH-Erniedrigung des Bodens kommt es zu einer verstärkten Auswaschung der Metalle (MINISTRY OF AGRICULTURE ENVIRONMENT 1982). Ein Großteil wird über das Gewässernetz dem See zugeführt. Sekundär spielt der direkte Eintrag anthropogen freigesetzter Schwermetalle aus der Atmosphäre eine Rolle (HÄGERHÄLL 1982): Pb- und Ni-haltige Abgase des Kraftfahrzeugverkehrs, mit Zn und Cu verunreinigte Flugasche aus Hüttenbetrieben und vom Hausbrand, Cd- und Hg-verschmutzte Rauchgase aus fernen Industriegebieten werden beständig in die Atmosphäre emittiert.

Die Abnahmen der Schwermetallgehalte direkt an der Sedimentoberfläche deuten auf Rücklösungsprozesse aus dem Sediment, bedingt durch die pH-Erniedrigung des Seewassers, hin. Derartige Prozesse werden auch durch Untersuchungen anderer Seen in kristallinen Einzugsgebieten (z.B. Gr. Arbersee) bestätigt (NIRSCHL 1983).

6. Diatomeenanalyse

(vgl. Tab. 1,2,3)

In allen 56 Sedimentproben aus Sedimenttiefen von 0-2 cm bis 286-287 cm wurden Diatomeen gefunden. Die Dauerpräparate wurden von Prof. Dr. Joanna Kadlubowska im Institut für Biologie (Abt. Algologie) der Universität Lodz untersucht und die Ergebnisse freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Als Einbettungsmittel wurde Pleurax verwendet.

Die Diatomeenliste ist reich und umfasst 244 Taxa, welche sich in zwei große Gruppen teilen lassen. Die erste Gruppe umfasst 93 Taxa (Tab. 3), die in großen Individuenzahlen auftreten, die zweite mit 151 Taxa (Tab. 3) beinhaltet jene Diatomeenarten, die nur vereinzelt in den Präparaten auftreten.

In der folgenden Darstellung soll versucht werden, anhand der quantitativen bzw. semiquantitativen Diatomeenanalyse eine ökologische Bewertung des Racheleses für jene Zeitabschnitte vorzunehmen, die durch den 287 cm langen Sedimentkern repräsentiert werden. Ausgangspunkt für eine Betrachtung der „Umweltsituation“ auf der Grundlage der

Diatomeengesellschaften sind die Präparate der ältesten Sedimentprobe aus 286-287 cm Tiefe. In dieser Sedimenttiefe wurden 38 Diatomeentaxa identifiziert, von denen fünf (*Melosira italica*, *Pinnularia gibba*, *Stauroneis anceps*, *St. anceps f. linearis* u. *St. poenicenteron*) in allen Präparaten von 0-287 cm vorkommen und daher als Umweltindikatoren ungeeignet sind. Andere Taxa dagegen können auf das Vorherrschen von Diatomeengesellschaften hindeuten, die Wasser mit hohem bis mittlerem Elektrolytgehalt bevorzugen. Einige Taxa, wie z.B. *Eunotia valida* u. *Pinnularia*-Arten, sind für dystrophe Gewässer charakteristisch. Insgesamt kommen nur 5-15 % (mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 %) sowohl in den Präparaten aus der größten Sedimenttiefe wie auch in denen von der Sedimentoberfläche (0-2 cm) vor. Dieser geringe Prozentsatz „gemeinsamer“ Taxa deutet darauf hin, daß eine Veränderung der Wasserfaktoren vom ältesten vom Sedimentkern noch erfassten Zeitraum bis in jüngste Zeit erfolgt ist.

In den Präparaten aus der obersten und damit wohl auch jüngsten Sedimentprobe (0-2 cm) wurden 81 Taxa bestimmt. Es überwiegen:

Anomoeoneis serians, *A. brachysira*, *Eunotia bigibba*, *E. faba*, *E. lunaris*, *E. papilio*, *E. pectinalis*, *E. polydentula*, *E. robusta*, *E. tenella*, *E. valida*, *E. veneris*, *Frustulia rhomboides*, *F. rhomboides var. saxonica*, *Navicula subtilissima*, *Neidium bisulcatum*, *Pinnularia interrupta*, *P. polyonca*, *P. subcapitata*, *Stenopterobia intermedia* u. *Tabellaria flocculosa*.

Diese Taxa sind für saure und elektrolytarme Biotope charakteristisch. Ferner ist bemerkenswert, dass diese Arten an der Sedimentoberfläche in großen Individuenzahlen vorkommen.

Für die gesamte postglaziale Gewässerökologie ist die Frage interessant, wann dieser Übergang von hohen bzw. mittleren Elektrolytgehalten zur Elektrolytarmut stattfand. In den Präparaten aus 271-272 cm Sedimenttiefe wurden 54 Taxa bestimmt. Davon sind nur 8-25 % (Signifikanzniveau 95 %) in der tiefsten Sedimentprobe (286-287 cm) enthalten. In den Präparaten aus 271-272 cm kommen bereits charakteristische Vertreter saurer Gewässer vor, z.B. *Anomoeoneis brachysira*, *Cymbella cesatii*, *C. gracilis*, *C. microcephala*, *Eunotia arcus*, *E. valida*, *Frustulia rhomboides*, *Neidium bisulcatum*, *Pinnularia hemiptera*, *P. interrupta* u. deren Varietäten *P. microstauron* mit Varietäten u. *Tabellaria flocculosa*.

Ein Vergleich der Diatomeengesellschaft des ältesten Zeitabschnitts (286-287 cm) mit der in 271 - 272 cm Sedimenttiefe deutet also auf einen Beginn der Versauerung bereits in diesem Zeitabschnitt hin.

Die Diatomeengesellschaften der Proben aus 269-68 cm bis 0-2 cm Sedimenttiefe weisen auf eine fortwährende und zunehmende Versauerung hin. So sind u.a. die Veränderungen in der Anzahl der einzelnen Taxa bemerkenswert: *Gompho-*

Tab. 1: Prozentanteile der Individuenzahlen von *Anomoeoneis seriens* (A.s.), *A. brachysira* (A.b.) und *Frustulia rhomboides* (F.r.).

Tiefe in cm	1	2	3	1+2+3
	A.s.	A.b.	F.r.	
272-271		3	2	5
257-256	1	18	5	24
236-234	1	6	31	38
218-216	1	15	7	23
188-186	1	25	5	31
172-174	1	24	15	40
170-168	5	30	24	59
152-150	16	26	15	57
128-126	28	30	20	78
116-114	42	31	16	89
110-108	48	31	14	95
98-96	39	29	14	82
74-72	20	14	26	60
56-54	32	18	30	80
38-36	12	15	32	59
26-24	20	20	18	59
8-6 cm	7	17	20	44
2-0 cm	11	14	15	40

nema acuminatum var *coronatum* z.B. kommt von 286-150 cm Sedimenttiefe in großer Individuenzahl vor, ist jedoch in den obersten, d.h. jüngsten Sedimentschichten nicht mehr zu finden.

Die gesamte Individuenzahl von Diatomeen ist in den Schichten von 287-246 cm niedrig. Dieser Sedimentabschnitt ist zeitlich eindeutig in die älteste Dryas einzuordnen, in der aus klimatischen Gründen kein üppiges Algenwachstum zu erwarten ist. Ab 242 cm Sedimenttiefe bis zur Sedimentoberfläche treten Diatomeen in großer Individuenzahl auf. Es überwiegen *Anomoeoneis seriens*, *Anomoeoneis brachysira*, *Asterionella fibula*, *Eunotia lunaris*, *Eunotia robusta*, *Frustulia rhomboides*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonia* f. *capitata*, *Navicula rotaena*, *Neidium bisulcaturn*, *Pinnularia gibba*, *Pinnularia interrupta*, *Pinnularia interrupta* f. *minutissima*, *Stenopterobia intermedia* u. *Tabellaria flocculosa* (Tab. 2).

Für fast alle Sedimentproben charakteristisch sind *Anomoeoneis seriens*, *A. brachysira* u. *Frustulia rhomboides*. In einigen Schichten, z.B. von 170 cm-24 cm Sedimenttiefe, wurden für diese Arten hohe Individuenprozentanteile von 57-95 % notiert (Tab. 1). Zur Berechnung des Prozentsatzes zählt man 500 Exemplare der Diatomeen in Zufallsfeldern von mikroskopischen Präparaten (KADLUBOWSKA 1978).

7. Zusammenfassung

Der Rachelsee, ein 3,7 ha großer 13,5 m tiefer Karssee in 1071 m ü. NN am Südosthang des Rachels (Bayerischer Wald), spiegelt in Wasserkörper und Sediment präzivilisatorische und jüngste anthropogene Umweltveränderungen wider, im besonderen die Schadstoffanreicherung über die Atmosphäre und die Gewässerversauerung. Dies wird anhand zweier ca. 3 m langer Bohrkern aufgezigt, die bis in das Spätglazial zurückreichen. Auffallend ist u.a. die Anreicherung von Blei und Cadmium in den jüngsten Sedimentschichten.

Von den festgestellten Diatomeentaxa ist die Mehrzahl für saure Gewässer typisch. Ein Vergleich der Diatomeengesellschaft des ältesten Zeitabschnittes 286-287 cm mit der in 272-271 cm Sedimenttiefe deutet auf einen Beginn der Versauerung schon in diesem Zeitabschnitt hin. Die Diatomeengesellschaften aus 269-268 cm bis 2-0 cm Sedimenttiefe beweisen eine in jüngerer Zeit deutlich zunehmende Versauerung.

Der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald sei für die freundliche personelle und technische Unterstützung gedankt.

8. Literaturverzeichnis

AUTORENKOLLEKTIV (1982):

Saurer Regen – Ursachen, Folgen, Gegenmaßnahmen. – Kölner Volksblatt – Katalyse Umweltgruppe, Köln

BAUBERGER, W. (1964): Werdegang und Bau des Moldanubikums. – Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500000, hrsg. B. Bayer. Geolog. Landesamt München.

BLENDINGER, H. U. WOLF, H. (1971):

Die Magnetkieslagerstätte Silberberg bei Bodenmais und weitere Erzvorkommen im Hinteren Bayerischen Wald. – Der Aufschluß, Sonderheft 21, Heidelberg.

BRIZOVA, E., (1993): The importance of pollen analysis for the reconstruction of vegetation development during the last two millenia. Workshop of PAGES - Stream I in Brno 1992

CHOLNOKY, B. J. (1968):

Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. J. Cramer Verlag.

ELLING, W., BAUER, G., KLEMM, H., KOCH, H. (1979):

Klima und Böden. – Waldstandorte, Nationalpark Bayer. Wald, H. 1.

ERGENZINGER, P. (1967):

Die eiszeitliche Vergletscherung des Bayer. Waldes. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 18.

PFAFFL, F. (1988): Glazialmorphologische Untersuchungen

- hel-Nordkar und am Großen Arbersee im Bayeri-
wald. In: Geol. Bl. NO-Bayern, H. 1-2, Erlangen
- F. (1949/52): Spät- und nacheiszeitliche Waldge-
: Mitteleuropas nördlich der Alpen. 2 Bände
- A. (1976): Pflanzenernährung in Stichworten. – Kiel
- M. (1792):
ibung der Gebirge von Baiern und der oberen Pfalz.
hen 1792.
- R, U. U. MÜLLER, G. (1974):
metalle in Flüssen und Seen. – Berlin, Heidelberg,
rk 1974.
- ÄLL, B. (1982):
ierung der Umwelt – Eine massive Zerstörung der
eme in Schweden. – Akt. Inf. aus Schweden 281.
- , U. (1980):
che Formen und Ablagerungen. – Nationalpark Bayer.
.. 5, hrsg. v. Bayer. Staatsmin. f. Ernährung, Landw.
en.
- ANN, H. (1972): Definition und Bedeutung des
ounds für umweltschutzbezogene gewässerkundli-
tersuchungen. -Dt. Gewässerkundl. Mitt. 16, H. 6.
- OWSKA, J.Z. (1978): Methods of representative anal-
diatom communities. Verb. internat. Verein. Limnol.
5-1288.
- VSKI, R.E., u. ROFF, J.C. (1976): Effects of acidity
hytoplankton and primary productivity of selected
. Ontario lakes. - Can. J. Bot. 54.
- DT, B. u. STEINBERG, C. (1984): Limnochemische
nobiologische Auswirkungen der Versauerung von
ren Oberflächengewässern - Hrsg. Bayer. Landesamt
erwirtschaft.
- J. et al. (1971): Vorschlag zur Gliederung und Defi-
er limnischen Sedimente - Geol. Jb. 89, Hannover.
- MINISTRY OF AGRICULTURE AND ENVIRONMENT (1982): COMI-
TEE: Acidification Today and Tomorrow.
- NIRSCHL, H. (1983): Untersuchungen zum Sedimentchemis-
mus im Rachelsee. -Diplom-Arbeit an der FH München.
- NOACK, E.-M. (1979): Witterung und Klima im Nationalpark
Bayerischer Wald. -Nationalpark Bayer. Wald, Heft 5, hrsg.
v. Bayer. Staatsmin. f. Ernährung, Landw. u. Forsten.
- PETERMANN, R. U. SEIBERT, P. (1989): Die Pflanzengesellschaf-
ten des Nationalparks Bayer. Wald (mit Vegetationskarte). -
Nationalpark Bayer. Wald, H. 4, hrsg. v. Bayer. Staatsmin. f.
Ernährung, Landw. u Forsten.
- PLOCHMANN, R. (1979): Mensch und Wald. - München 1979.
- REISSINGER, A. (1930): Der Schwarze See im Böhmerwald.
- Die ostbayer. Grenzmarken, Monatsschrift d. Inst. f. Ost-
bayer. Heimatforschung 3.
- REISSINGER, A. (1931): Schlammuntersuchungen am Schwar-
zen See im Böhmerwald. -Stuttgart 193 1.
- SEYFERT, L. (1981): Der Abbau von Erz- und Quarzvorkom-
men im Bereich des Nationalparks Bayer. Wald. - Der Auf-
schluß, Sonderband 31, Heidelberg.
- STRAKA, H. (1979): Pollenanalyse und Vegetationsgeschichte.
- Wittenberg Lutherstadt
- TUREKIAN, K.K. U. WEDEPOHL (1961): Distribution of the ele-
ments in some major units of the earth's crust. - Bull. Geol.
Soc. Am.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT PASSAU (1982): Rachel-
seeuntersuchung/Tiefenprofil No - 4110 1009/82012.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Günther Michler
Inst. f. Geographie
Luisenstr. 37
80333 München
g.michler@geographie.uni-muenchen.de

Tab. 2: Diatomeentaxa, die in den Präparaten mit großer Individuenzahl vorkommen

Taxa	Tiefe (in cm)	Ökologische Eigenschaften
1. Anomoeoneis serians (Breb.) Cl.	256-0	In oligotrophen Gewässern mit geringem Elektrolytgehalt (K). pH-Optimum bei pH 5,2 (CH.).
2. Anomoeoneis brachysira (Breb) Grun.	271-0	Bevorzugt oligotrophe Gewässer mit geringem Elektrolytgehalt (K).pH-Optimum bei pH 5,2 (CH.).
3. Asterionella fibula (Beb.) Hust.	186-0	
4. Clycotella meneghiniana Kütz.	194-0	pH-Optimum über 8,0 (CH.).
5. Cymbella amphicephala Näg.	271-0	Bevorzugt Gewässer mit mittlerem Mineralgehalt (K.).pH-Optimum 7,3 bis 7,4 (Ch.)
6. Cymbella caespitosa (Kütz.) Brun	271-261, 246, 78, 14	Bevorzugt Gewässer mit höherem Mineralgehalt (K.).
7. Cymbella cesatii (Rabh.) Grun.	271, 156-84, 24-0	In den Alpen, besonders in sauerstoffreichen Biotopen (K.).
8. Cymbella gracilis (Rabh.) Cl.	271-60	Bevorzugt oligotrophe Gewässer mit geringem Elektrolytgehalt (K).
9. Cymbella microcephala Grun.	271-216, 132, 30	Verbreitet in Gewässern mit niedrigem (Moorgewässer) bis hohem Salzgehalt (K.) pH-Optimum etwa 7,3 (CH.).
10. Cymbella naviculiformis auersw.	271-168, 0	Gedeiht optimal in Gewässern mit einem mittleren pH zwischen 7,5 und 8,0 und scheint grössere pH-Schwankungen nicht ertragen zu können(Ch.)
11. Cymbella prostrata (Berkeley) Cl.	234-192	Bevorzugt Gewässer mit höherem Elektrolytgehalt (K.).pH-Optimum sicher über 8,0 (Ch.)
12. Cymbella turgida (Greg.) Cl.	286-168, 78	Bevorzugt Gewässer mit niedrigem Elektrolytgehalt (K.)pH-Optimum etwas unter pH 7,5 (Ch.). Kann pH-Schwankungen sehr schlecht ertragen (Ch.)
13. Cymbella ventricosa Kütz.	286-138, 30-0	pH-Optimum um 7,4 bis 7,8 (Ch.).
14. Diatoma elongatum (Lyngb.) Ag.	271-168	pH-Optimum liegt zwischen 7,4 und 7,8(Ch.).
15. Diatoma hiemale (Lyngb.) Heib. var.mesodon (Ehr.) Grun	286-80	In Gebirgsgewässern in kalten Biotopen (S).
16. Diatoma vulgare Bory	261-84	pH-Optimum über 8.0 wahrscheinlich um pH 8,2 (Ch.).
17. Eunotia arcus Ehr.	271, 204-102, 24	pH-Optimum um oder vielleicht über pH 6(Ch.)
18. Eunotia bigibba Kütz.	265-180, 132-0	pH-Optimum zwischen 5,0 und 5,5 (Ch.). pH-Schwankungen scheinen auch von dieser Art kaum ertragen zu werden (Ch.)
19. Eunotia exigua (Breb.) Rabh.	240, 192-140, 78	pH-Optimum zwischen 5,2 und 5,3 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
20. Eunotia faba (Ehr.) Grun.	132-78, 0	pH-Optimum zwischen 5,0 und 5,5 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
21. Eunotia flexuosa (Breb) Kütz.	216-192, 132-30	pH-Optimum zwischen 5,2 und 5,5 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
22. Eunotia lunaris (Ehr.) Grun.	240-0	pH-Optimum zwischen 5,5 und 6,0 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
23. Eunotia meisteri Hust.	180-78, 24	In Moorgewässern (S.).
24. Eunotia meisteri Hust. var. Bidens Hust.	180, 170, 90, 78, 72, 24	pH-Optimum 5,5 (Ch.)

<i>lotia papilio</i> (Grun.) Hust.	246, 228, 90, 24, 14, 0	Optimum der Art liegt sicher sehr niedrig (Ch.).
<i>lotia parallela</i> Ehr.	126-78, 24, 18, 14, 6	pH-Optimum 5,0 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
<i>lotia pectinalis</i> (Dillw.? Kütz.) Rabh.	156-138, 78, 0	pH-Optimum 6,5 (Ch.) Nominatform eurytope Kosmopolit (S.).
<i>lotia pectinalis</i> (Dillw.? Kütz.) Rabh. Minor (Kütz.).	192-120, 78	
<i>lotia polydentula</i> Brun var. <i>Perpusilla</i> Grun.	132-78, 0	pH-Optimum zwischen 5,2 und 5,5 (Ch.). In den schwach und mittel-sauren Gewässern (S.).
<i>lotia robusta</i> Ralfs.	132-120, 90-0	pH-Optimum niedrig, ungefähr bei 5,0 (Ch.). In Moortümpeln (S. Z.).
<i>lotia robusta</i> Ralfs var. <i>Diadema</i> (Ehr.) Ralfs	172-126	In den Gebirgen (S. Z.) Gemeinsam mit der Art (Z.).
<i>lotia robusta</i> Ralfs var. <i>Tetraodon</i> (Ehr.) Ralfs	186-126	In den Gebirgen (S. Z.) Gemeinsam mit der Art (Z.).
<i>lotia sudetica</i> O. Müll.	240-222, 192, 72, 66	pH-Optimum niedrig (Ch.). In Moorgewässern (S.).
<i>lotia tenella</i> (Grun.) Hust.	234-156, 84, 24, 0	pH-Optimum zwischen 5,0 und 5,5 (Ch.). In Moorgewässern (S.).
<i>lotia veneris</i> (Kütz.) O. Müll.	132-78, 0	In Moorgewässern (S.).
<i>lotia construens</i> (Ehr.) Grun.	180-132, 78-60, 24	pH-Optimum etwa 7,7-7,8 (Ch.).
<i>lotia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni	271-0	Nominatform eurotope Kosmopolit, vor allem aber im Litoral von Gewässern und Quellen. Massenvorkommen in elektrolytarmen Gewässern, findet sich auch bei mittlerem Elektrolytgehalt. (K.).
<i>lotia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni var. <i>onica</i> (Rabh.) De Toni f. <i>capitata</i>	271-0	Nordisch-alpin, bevorzugt dystrophe, elektrolytarmer Gewässer, vor allem Hochmoore (K.).
<i>lotia rhomboides</i> (Ehr.) De Toni var. <i>onica</i> (Rabh.) De Toni f. <i>capitata</i> (Ehr.) Hust.	271-0	Wahrscheinlich wie var. <i>Saxonica</i>
<i>lotia nophonema acuminatum</i> Ehr. <i>brebissonii</i> (Kütz.) Cl	286-256	Die Charakterisierung der Art „alkalophil“ ist sicher irreführend, weil ebenso hohe Vitalität regelmäßig auch in elektrolytarmen Milieu, weit unter dem Neutralpunkt, zusammen mit artenreichen <i>Eunotia</i> - <i>Pinnularia</i> -Vergesellschaftungen festzustellen ist (K.).
<i>lotia nophonema acuminatum</i> Ehr. var. <i>capitata</i> (Ehr.) W. Sm.	286-150	pH-Optimum der Nominatform um, vielleicht auch über 8. Varietäten der Art...haben keine von der des Typus abweichende Autoökologie (Ch.).
<i>lotia nophonema capitatum</i> Ehr.	271-204	In elektrolytreicheren Gewässern (K.).
<i>lotia nophonema parvulum</i> (Kütz.) Grun.	147, 135, 132-114, 96, 78	pH-Optimum etwa 7,8 bis 8,2 (Ch.).
<i>lotia osira distans</i> (Ehr.) Kütz.	240-0	In kalten Biotopen, in Gebirgen (S.).
<i>lotia osira granulata</i> (Ehr.) Ralfs	271, 150, 138, 84, 60, 42, 0	pH-Optimum zwischen 7,9 und 8,2 (Ch.).
<i>lotia osira granulata</i> (Ehr.) Ralfs var. <i>angustissima</i> (O. Müll.) Hust.	170, 78, 60, 42, 18, 0	
<i>lotia osira italica</i> (Ehr.) Kütz.	286-0	pH-Optimum sicher unter 8,0 (Ch.).
<i>lotia osira minima</i> Grun.	204, 192, 156, 90, 72	In unterschiedlichsten Biotopen (K.). pH-

50. <i>Navicula radiosa</i> Kütz.	204, 192-0	Optimum zwischen 7,5 und 8,0 (Ch.). Indifferent zum pH und Elektrolytgehalt (K.). Das pH-Optimum liegt wohl dem Neutralpunkt nahe (Ch.).
51. <i>Navicula rotaena</i> (Rabh.) Grun.	250-0	pH-Optimum unter 6,0 (Ch.).
52. <i>Navicula subtilissima</i> Cl.	150-0	In Hochmooren und damit in Kontakt stehenden extrem sauren und elektrolytarmen Biotopen (K.).
53. <i>Neidium affine</i> (Ehr.) Cl. var. <i>Amphirhynchus</i> (Ehr.) Cl.	192, 180, 162, 78, 0	
54. <i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerst.) Cl.	271-24, 0	In moorigen Sümpfen mit geringem Elektrolytgehalt.
55. <i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerst.) Cl. f. <i>undulatum</i> O.Müll	271-204, 198, 192	pH-Optimum zwischen 5,0 und 6,0 (Ch.).
56. <i>Neidium dubium</i> (Ehr.) Cl.	216-114, 78	In oligosaprogenen Gewässern mit mittlerem, selten auch höherem Elektrolytgehalt (K.). pH-Optimum um pH 6,0 (Ch.)
57. <i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cl.	286, 210-156, 114-0	Kosmopolit. In verschiedenen oligosaprogenen Gewässern mit mittlerem Elektrolytgehalt (K.)
58. <i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cl. f. <i>vernalis</i> Reich.	234-14, 0	pH-Optimum um pH 6,0 (Ch.).
59. <i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cl. f. <i>maximum</i> (Cl.) Hust	204-180, 36	pH-Optimum um pH 6,0 (Ch.).
60. <i>Neidium iridis</i> (Ehr.) Cl. var. <i>ampliatum</i> (Ehr.) Cl. (=N.- <i>ampliatum</i>)	192-168	In oligo- bis mesotrophen Gewässern mit mittlerem Elektrolytgehalt (K.)
61. <i>Neidium productum</i>	259-72	Scheint Gewässer mit geringem Elektrolytgehalt zu bevorzugen und wurde besonders in dystrophen Gewässern gefunden, während sie in Gewässern mit mittlerem Elektrolytgehalt meist fehlt (K.). pH-Optimum um, vielleicht etwas unter pH 6,0 (Ch.).
62. <i>Pinnularia gibba</i> Ehr.	286-0	In Gewässern mit unterschiedlichen Elektrolytgehalt (K.).
63. <i>Pinnularia gibba</i> Ehr. var. <i>linearis</i> Hust.	286, 168-84, 0	Optimum etwa pH 6,0. Die sogenannten „Varietäten“ der Art...sind ökologisch vom Typus nicht verschieden (Ch.)
64. <i>Pinnularia gibba</i> Ehr. <i>parva</i> (Ehr.) Grun.	246, 150-114	
65. <i>Pinnularia gibba</i> Ehr. f. <i>subundulata</i> Mayer.	120-84, 0	
66. <i>Pinnularia hemiptera</i> (Kütz.) Cl.	271-192	In Gebieten, besonders in Gebirgsgewässern mit niedrigem bis mittlerem Elektrolytgehalt verbreitet (K.). Optimum zwischen pH 5,8 und 6,4 (Ch.)
67. <i>Pinnularia interrupta</i> W. Sm.	271-0	Überall verbreitet, scheint aber oligosaprogenen Gewässern mit niedrigem Mineralgehalt zu bevorzugen (K.).
68. <i>Pinnularia interrupta</i> W. Sm. f. <i>minutissima</i> Hust.	271-0	(K.). pH-Optimum um 7,5 oder vielleicht etwas höher (Ch.).
69. <i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cl.	286-78	Nominatform häufiger in Gewässern mit niedrigem Elektrolytgehalt, seltener mit mittlerem und höherem Elektrolytgehalt (K.).
70. <i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cl. f. <i>biundulata</i> O Müll.	286-78	
71. <i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cl. var. <i>brebissonii</i> (Kütz.) Hust.	286-78	Die Art und ihre Varietäten und Formen haben ein höheres pH-Optimum als die meisten anderen Arten der Gattung, es liegt aber kaum über

pH 7,0 (Ch. Seite 334). *P. microstauron* und ihrer Varietäten, besonders die var. *Brebissonii*, können auch in schwach alkalischen Gewässern eine gewisse, nicht besonders hohe Häufigkeit erreichen, ihr pH-Optimum liegt aber wahrscheinlich bei pH 6,8 oder 6,9 (Ch. Seite 417)

72. <i>Pinnularia nobilis</i> Ehr.	246-136, 126, 102	In dystrophen Gewässern und solchen mit niedrigem Elektrolytgehalt bevorzugt (K.).
73. <i>Pinnularia polyonca</i> (Breb.) O. Müll.	192-12, 0	Scheint Gewässer mit geringem Elektrolytgehalt zu bevorzugen (K.) Optimum unter pH 6 (Ch.).
74. <i>Pinnularia subcapitata</i> Greg.	246, 240, 132, 78, 14, 0	In Gewässern mit geringem Elektrolytgehalt, besonders im Gebirge (K.). Ist eine allgmein verbreitete und sehr häufige Bewohnerin saurer Gewässer, deren pH-Optimum zwischen pH 5,5 und 5,8 liegt (Ch.).
75. <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch.) Ehr.	286-192, 114, 84, 30	Besonders in Gewässern mit geringem, aber auch mittlerem Elektrolytgehalt(K.). pH-Optimum zwischen pH 5,6 und 6,0 (Ch.).
76. <i>Pinnularia viridis</i> (Nitzsch.) Ehr. var. <i>Sudetica</i> (Hilse) Hust.	265-192, 156	
77. <i>Stauroneis anceps</i> Ehr.	286-0	In allen Gewässertypen (K.) pH-Optimum unter, aber nahe pH 7 (Ch.).
78. <i>Stauroneis anceps</i> Ehr. F. <i>gracilis</i> (Ehr.) Cl.	204-192, 168-150, 60	
79. <i>Stauroneis anceps</i> Ehr. F. <i>linearis</i> (Ehr.) Cl.	286-0	
80. <i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch.) Ehr.	286-0	Litoralform, auch in stärker verschmutzten, eutrophen Gewässern aller Art verbreitet und häufig (K.). Optimum etwa pH 6,8 (Ch.).
81. <i>Stenopterobia intermedia</i> Levis	210-0	In dystrophen Gewässern (K.). In Moortümpeln (S.). pH-Optimum 5,5 (Ch.).
82. <i>Stephanodiscus astraea</i> Hust	271, 253, 222, 186, 120, 90, 24	In eutrophen Gewässern (S.) pH-Optimum bei pH 8,3 (Ch.)
83. <i>Stephanodiscus astraea</i> (Ehr.) Grun. var. <i>miutulus</i> (Kütz.) Grun	286, 216, 72, 66, 48, 24, 0	
84. <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.	286, 240-24	In eutrophen Gewässern (S.) Das pH-Optimum liegt ebenfalls hoch, sicher um oder über pH 8,2.(Ch.) Alkalophil (Kalbe).
85. <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun. var. <i>pusillus</i> Grun.	222-216, 150, 138-108	
86. <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun. var. <i>stratior</i> Kalbe	216, 150, 138-108, 24	
87. <i>Suriella linearis</i> W. Sm.	256-138, 24, 0	pH-Optimum um, vielleicht etwas unter pH 6,0
88. <i>Suriella linearis</i> W. Sm. var. <i>constricta</i> (Ehr.) Grun.	240, 204-120, 0	
89. <i>Suriella linearis</i> W. Sm. var. <i>helvetica</i> (Brun) Meist.	271, 210-120, 0	
90. <i>Synedra acus</i> Kütz.	162-114, 0	pH-Optimum zwischen pH 7,4 und 7,6 (Ch.).
91. <i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kütz.	138, 120, 108, 102, 96, 78, 0	Das pH-Optimum 5,8 (Ch.). pH-Optimum unter pH 5,0 nicht höher als 5,3 (Ch.).
92. <i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kütz.	271-0	pH-Optimum um pH 5,0, nicht höher als 5,3 (Ch.).
93. <i>Coscinodiscus</i> sp.	265-0	

Taxa: Diatomeentaxa, die in den Präparaten nur vereinzelt vorkommen

<u>Taxa</u>	<u>Tiefe</u>		
1. Achnanthes coarcta (Breb.) Grun.	250		
2. Achnanthes conspicua Mayer	180, 0		
3. Achnanthes flexella (Kütz.) Grun.	261		
4. Achnanthes inflata (Kütz.) Grun.	271		
5. Achnanthes kryophila Petersen	259		
6. Achnanthes lanceolata (Breb.) Grun.	256		
7. Achnanthes lanceolata (Breb.) Grun. Var. Elliptica Cl.	132		
8. Amphora ovalis Kütz.	192, 60		
9. Asterionella formosa Hass.	216, 120		
10. Caloneis becillum (Grun.) Mer.	280, 271		
11. Caloneis becillum (Grun.) Mer.	280, 271		
12. Caloneis clevei (Lagerstr.) Cl.	265		
13. Caloneis silicula (Ehr.) Cl. Var. alpina Cl.	259		
14. Caloneis silicula (Ehr.) Cl. Var. ventricosa (Ehr.) Donk.	286, 265, 256		
15. Ceratoneis arcus (Ehr.) Kütz.	286, 256		
16. Cocconeis antiqua Temp. et Br.	78		
17. Cocconeis imperatrix A. S.	78		
18. Cocconeis pinnata Greg.	78		
19. Cocconeis placentula Ehr.	192, 0		
20. Cyclotella commenis Grun.	132		
21. Cyclotella compta (Ehr.) Kütz.	192		
22. Cyclotella ocellata Pant.	286		
23. Cyclotella operculata (Ag.) Kütz. Var. Mesolein Grun.	286		
24. Cymbella aspera (Ehr.) Cl.	286		
25. Cymbella brehmii Hust.	210		
26. Cymbella cuspidata Kütz.	192		
27. Cymbella delicatula Kütz.	132, 90		
28. Cymbella hebridica (Greg.) Grun.	234, 216, 2		
29. Cymbella hybrida Grun.	286, 240		
30. Cymbella laevis Näg.	198		
31. Cymbella mutica Torka	271		
32. Cymbella perpusilla Cl.	90		
33. Cymbella pusilla grun.	192		
34. Cymbella saxonica Bily et Marvan	271, 102, 78		
35. Cymbella sinuata Greg.	192, 30, 24, 0		
36. Cymbella turidala Grun.	216		
37. Dipioneis ovalis (Hilse) Cl.	253		
38. Dipioneis ovalis (Hilse) Cl. Var.	253		
		oblongella (Näg.) Cl.	
		39. Dipioneis parma Cl.	286
		40. Eunotia arcus Ehr. Var. Fallax Hust.	
		41. Eunotia bidentula W. Sm.	216, 192
		42. Eunotia bigibba Kütz. Var. pumila Grun.	240, 222, 78, 0
		43. Eunotia diodon Ehr.	271, 240, 228, 84
		44. Eunotia exigua (Breb.) Rabh. var. Bidens Hust	216
		45. Eunotia gracilis (Ehr.) Rabh.	222
		46. Eunotia kocheliensis O. Müll.	216, 90
		47. Eunotia lunaris (Ehr.) Grun. var. Capitata Grun.	0
		48. Eunotia microcephala Krasske	168, 78
		49. Eunotia microcephala Krasske var. tridentula (Mayer) Hust.	102, 78
		50. Eunotia monodon Ehr.	222
		51. Eunotia monodon Ehr. var. bidens (Greg.) W. Sm.	246, 216
		52. Eunotia praeerupta Ehr.	162, 90, 84, 0
		53. Eunotia praeerupta Ehr. var. bidens (W. Sm.) Grun.	216, 138
		54. Eunotia septentrionalis Oestr.	253, 216, 114
		55. Eunotia sudetica O. Müll. var. bidens Hust.	0
		56. Eunotia suecica Cl.	222
		57. Fragilaria alpestris Krasske	170
		58. Fragilaria brevistriata Grun.	271, 261
		59. Fragilaria constricta Ehr.	132, 0
		60. Fragilaria construens (Ehr.) Grun. var. binodis (Ehr.) Grun.	60
		61. fragilaria construens (Ehr.) Grun. var. exigua (W. Sm.) Schulz	174
		62. Fragilaria construens (Ehr.) Grun. var. venter (Ehr.) Grun.	174
		63. Fragilaria inflata (Heid.) Hust.	271, 265, 228
		64. Fragilaria intermedia Grun.	102
		65. Fragilaria virescens Ralfs	265, 174, 156, 150
		66. Fragilaria virescens Ralfs var. capitata Oestr.	0
		67. Frustulia vulgaris (Thw.) de Toni	271, 126
		68. Gomphonema acuminatum Ehr.	286, 240, 192
		69. Gomphonema angustatum (Kütz.) Rabh.	265, 198, 192
		70. Gomphonema gracile Ehr.	216, 120
		71. Gomphonema gracile ehr.	216, 120

72. Gomphonema lanceolatum Ehr.	240, 216, 84	114. Nitzschia fonticola Grun	271, 180, 174, 156, 132
73. Gomphonema longiceps Ehr. var. subclavatum Grun.	204	115. Nitzschia frustulum (Kütz.) Grun.	271, 228
74. Gomphonema longiceps Ehr.	271, 210	116. Nitzschia linearis W. Sm.	192
75. Gomphonema olivaceum (Lyngb.) Kütz	180	117. Nitzschia paleacea Grun.	102
76. Gyrosigma attenuatum (Kütz.) Rabh.	286, 265, 162	118. Nitzschia romana Grun.	259, 24
77. Gyrosigma kützingii (Grun.) Cl.	265	119. Nitzschia sublinearis Hust.	204
78. Hantzschia amphioxus (Ehr.) Grun.	265	120. Pinnularia acrosphaeria Breb.	222
79. Melosira distans (Ehr.) Kütz. var. alpigena Grun	192, 0	121. Pinnularia appendiculata (Ag.) Cl.	180, 126
80. Melosira islandica O. Müll.	60, 0	122. Pinnularia borealis Ehr.	240, 132, 72, 0
81. Melosira italica (Ehr.) Kütz. var. valida (Grun.) Hust.	192, 0	123. Pinnularia borealis Ehr. var. brevicostata Hust.	186
82. Meridion circulare Ag.	271, 240, 216	124. Pinnularia braunii (Grun.) Cl.	192, 24
83. Meridion circulare Ag. var. constricta (Ralfs) V.H.	216, 192, 168	125. Pinnularia braunii (Grun.) Cl. var. amphicephala (Mayer) Hust.	60
84. Navicula anglica Ralfs	271	126. Pinnularia divergens W. Sm.	126
85. Navicula atomus (Näg.) Grun.	271	127. Pinnularia cardinaliculus Cleve	126
86. Navicula bacillum Ehr.	286	128. Pinnularia episcopalis Cl.	234
87. Navicula bicapitellata Hust.	216	129. Pinnularia leptosoma Grun.	192
88. Navicula cari Ehr.	78, 0	130. Pinnularia mesolepta (Ehr.) W. Sm	286, 253
89. Navicula cinta (Ehr.) Kütz.	286	131. Pinnularia stauroptera Grun.	192
90. Navicula cinta (Ehr.) Kütz. var.		132. Pinnularia subsolaris (Grun.) Cl.	271
91. Navicula cocconeiformis Greg.	286	133. Stauroneis acuta W. Sm.	234, 222
92. Navicula contenta Grun. f. parallela 0 Peterson		134. Stephanodiscus alpinus Hust.	0
93. Navicula cryptocephala Kütz. var. lata Porecki et Anisimowa	192	135. Stephanodiscus dubius (Frik-ke) Hust	216, 174, 72, 0
94. Navicula digitulus Hust.	259, 256, 240	136. Stephanodiscus tenuis Hust.	216, 180, 84
95. Navicula exigua (Greg.) O. Müll.	240, 228, 72	137. Surirella angustata Kütz.	271, 265
96. Navicula fragilarioides Krasske	0	138. Surirella birostrata Hust.	216, 192, 0
97. Navicula graciloides Mayer	259, 253, 250	139. Surirella biseriata Breb.	0
98. Navicula grimmei Krasske	259	140. Surirella capronii Breb.	216, 210, 204, 192
99. Navicula hungarica Grun.	259	141. Surirella delicatissima Laevis	0
100. Navicula lapidosa Krasske	256	142. Surirella moelleriana Grun.	0
101. Navicula microcephala Grun.	271, 259	143. Surirella ovata Kütz. var. pinnata (W. Sm.) Hust.	265
102. Navicula mutica Kütz.	286	144. Surirella robusta Ehr.	216, 210
103. Navicula placentula (Ehr.) Grun.	286	145. Surirella tenera Greg.	250, 204
104. Navicula pupula Kütz.	256, 246, 0	146. Synedra acus Kütz. var. angustissima Grun.	60
105. Navicula pupula Kütz. var. elliptica Hust.	265, 0	147. Synedra amphicephala Kütz.	192, 168
106. Navicula pusio Cleve.	246	148. Synedra captitata Ehr.	286
107. Navicula pseudoscutiformis Hust.	204, 192	149. Synedra pulchella (Ralfs) Kütz.	286, 192, 132, 0
108. Navicula reinhardtii Grun.	216, 156, 0	150. Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr.	256
109. Navicula schöffeldii Hust.	256	151. Synedra ulna (Nitzsch.) Ehr. var. danica (Kütz.) Grun.	253, 210, 168
110. Navicula variostrata Krasske	0		
111. Neidium affine (Ehr.) Cl.	198, 186, 84, 0		
112. Neidium affine (Ehr.) Cl. var. longiceps (Greg.) Cl.	265, 210, 192, 150		
113. Nitzschia acicularis W. Sm.	36, 0		

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Der Bayerische Wald](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [14_1](#)

Autor(en)/Author(s): Michler Günther

Artikel/Article: [Untersuchungen an Sedimentkernen aus Seen im Bayerischen und Böhmischem Wald 3-23](#)