Der Bayerische Wald | 15 / 2 NF S. 20 - 31 | Dezember 2001 | ISSN 0724 - 2131
©Bot. Arbeits- und Schutzgem. Bayer. Wald e.V. & Naturw. Ver. Passau e.V.;download www.biologiezentrum.at

Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Schwarzen See (Cerne jezero) und Teufelssee (Certovov jezero) im Böhmerwald (Tschechien)

(Glühverlust, Karbonatgehalt, Alkali-Erdalkali-Erd- und Schwermetallgehalte)

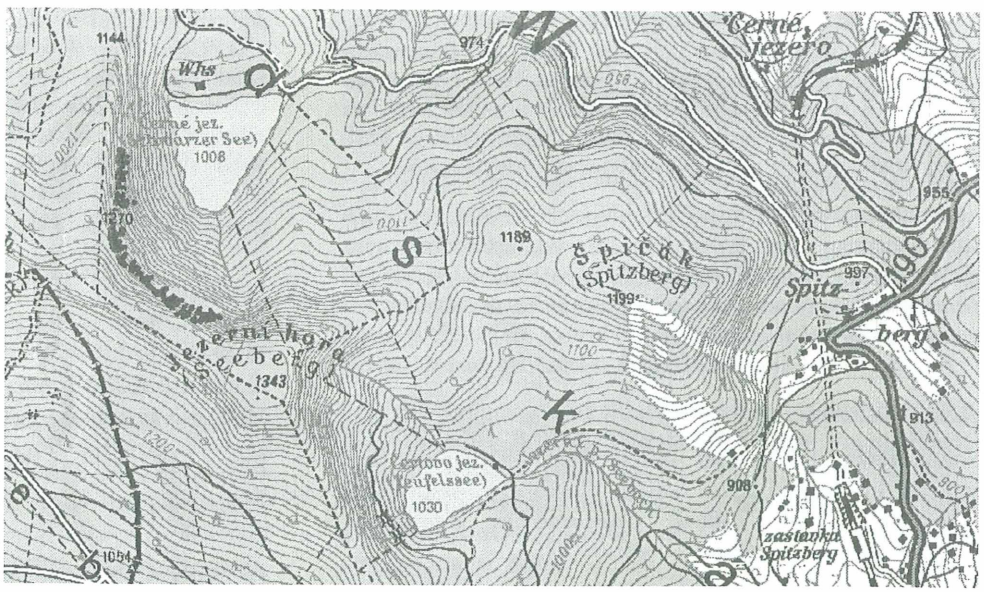
Günther Michler, München

In „Der Bayerische Wald“ v. Juni 2000 u. Dez. 2000 wurde über Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Rachelsee und aus dem Gr. Arbersee berichtet. In dieser Ausgabe sollen die bisherigen (noch vorläufigen) Ergebnisse der Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Schwarzen See und dem Teufelssee vorgestellt werden. Beide Seen liegen auf der tschechischen Seite des Ossermassivs.
Chancen und Erkenntnisziele von Untersuchungen an Seesedimentkernen, Kernentnahmetechniken, Analysemethoden u.a. wurden bereits in den beiden vorangegangenen Beiträgen (MICHLER, G. (2000a u. 2000b) dargestellt. Daher seien hier nur noch die bisher vorliegenden Ergebnisse zu Schwarzer See und Teufelssee in geraffter Weise vorgestellt.

Untersuchungsgebiet

Schwarzer See (Cerne jezero) und Teufelssee (Certovo jezero) liegen im sogenannten Künischen („Königlichen“) Gebirge des Ossermassivs (Großer Osser 1343 m ü. NN), wo die Bauern vom böhmischen König als Bewacher der Grenze mit besonderen Privilegien ausgestattet waren. Auf dem Großen Osser (1293 m), der zu den schönsten Bergen im Bayerischen Wald zählt, verläuft die Grenze nach Tschechien direkt hinter dem Schutzhaus. 1995 wurde ein Grenzübergang nach Böhmen eröffnet. Seitdem kann man wieder das gesamte „künische Gebirge“ (früheres Freibauernland) uneingeschränkt durchwandern. Durch einen Sattel vom Hauptgipfel getrennt liegt westlich der Kleine Osser (1266m). Nach einer Sage soll der Osserriese zum Füßewaschen den einen Fuß in den Schwarzen See und den anderen Fuß in den Teufelssee gesteckt haben. Glücklicherweise war sein Waschbedürfnis nicht allzu ausgeprägt, denn jedes Mal, wenn er sich wusch, soll es zu gewaltigen Überschwemmungen gekommen sein.
Schwarzer See und Teufelssee nehmen im Ossergebiet geomorphologisch nahezu identische Positionen ein wie auf bayerischer Seite Kl. Arbersee u. Gr. Arbersee im Arbergebiet. Wie der Kl. Arbersee liegt der Schwarze See (Fläche 18,4 ha, Seespiegelhöhe 1008 m ü. NN) in einem N- bis NO-exponierten Kar des Gr. Ossers (s. .Karte 1), das sich durch eine ausgeprägte Karwand auszeichnet (die „Seewand“), die jedoch am Kl. Arbersee in dieser Ausprägung nicht vorhanden ist, sondern eher mit der Seewand des Gr. Arbersees verglichen werden kann.

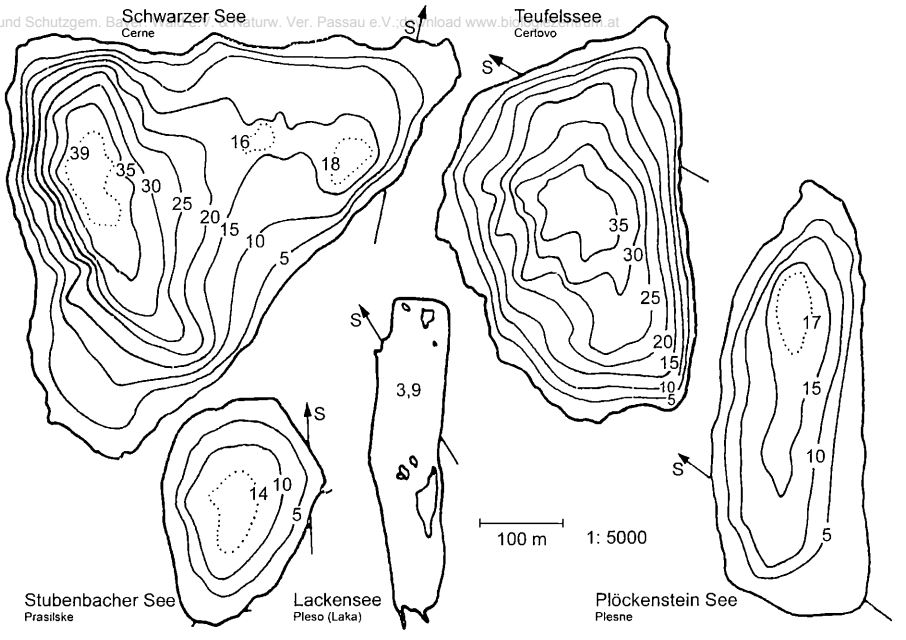
Der Teufelssee (Seespiegel 1030 m ü. NN) liegt in O-SO-Richtung des Ossergipfels und ist ebenfalls von einer charakteristischen Karwand im N und O umschlossen. Der eher gratigen Gipfelstruktur des Ossers, bedingt durch den anstehenden Glimmerschiefer, entspricht auch diese fast schon an Hochgebirge erinnernde Umrahmung beider Seen (tref-



Karte 1: Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1 50.000 von Bayern, entnommen aus der Computer-CD 1 50.000 Bayern - Nord des Bayerischen Landesvermessungsamtes. Da der Ausschnitt auf tschechischer Seite liegt (Grenze = dicke gestrichelte Linie links), handelt es sich nur um eine Übernahme aus tschechischen Karten. Die sehr hilfreichen Möglichkeiten dieser neuartigen Kartenausgaben auf CD (u.a. Detailkarten der Höhenschichten, Höhenprofile, 3D-Darstellung) sind leider für diesen tschechischen Teil nicht anwendbar.

fend von dem Geologen F. PFAFFL, Zwiesel, als „Karzirkus“ bezeichnet).

Sowohl Schwarzer See wie Teufelssee werden von einem „Seebach“ entwässert, wie diese Bäche nun einmal vom Volksmund ganz allgemein benannt wurden (ohne dass in der damals „kleinen Welt“ auf die entstehende topographische Ungenauigkeit durch Mehrfachnutzung dieser Bezeichnung im näheren Umfeld geachtet wurde). Die umliegenden Waldungen gehörten bis Ende des 2. Weltkrieges (so wie heute noch die Waldungen um den Gr. Arbersee) zum Besitztum des Fürsten von Hohenzollern-Sigmaringen. Der Schwarze See ist über eine Waldstraße von Spicak (Spitzberg) gut erreichbar, während die Zufahrt zum Teufelssee zur Zeit der Sedimentbohrung (1990) – vom Dorf Eisenstein – mit der ganzen Bohrausrüstung auf dem kaum ausgebauten Weg nicht einfach war.



Karte 2: Isobathenkarten der fünf natürlichen Seen auf tschechischer Seite des Böhmerwaldes (aus „ziva“ 1979, aufgenommen von Scambery 1939, nach M. Buchta (keine weiteren Angaben). S bedeutet Norden (!), auf tschechisch „Sever“

Karte 2 stellt die Isobathenkarte der fünf Seen auf böhmischer Seite des Böhmerwaldes dar. Die Übernahme aus einer tschechischen Zeitschrift „Ziva (=Leben)“ von 1979 zeigt, dass zumindest zu dieser Zeit noch keine genaueren Isobathenkarten vorgelegen haben mögen. Die Form des Schwarzen Sees scheint auch auf morphologisch zwei Seebecken hinzuweisen (ähnlich dem Gr. Arbersee, wenngleich weit weniger deutlich): im W nahe der „Seewand“ (=Karwand) das Karbecken mit einer Achse in N-S-Richtung (in der tschech. Karte bedeutet S- (=Sever) die Nordrichtung!) und einer beachtlichen Tiefe von 39 m, dem nach O-NO die Karschwelle anschließt (ca. 16 m Tiefe), gefolgt von einem Moränenabdämmbecken mit 18 m Tiefe. Damit weist der Schwarze See die absolut größte Tiefe von allen 8 natürlichen Seen dieses Raumes auf, gefolgt vom Teufelssee (ca. 35 m), Plöckensteinsee (17 m), Gr. Arbersee (15 m), Rachelsee (15.m), Stubenbacher See (14 m), Kl. Arbersee (6 m) u. Lakkensee (knapp 4 m, auch Lakka-See genannt). Nur Gr. Arbersee u. Schwarzer See (nach F. PFAFFL rudimentär auch Kl. Arbersee) haben also die für Karseen morphologisch so charakteristische Dreiteilung in Karbecken, Karschwelle und Moränenabdämmbecken! Die vergleichsweise große Tiefe von Schwarzem See und Teufelssee ist auf den – gegenüber dem Cordierit-Sillimanit-Gneis des Arbermassivs – weicheren Glimmerschiefer des Ossergebietes zurückzuführen (frd. Mitt. F. PFAFFL).

Bohrungen und Probennahme

Die Sedimentbohrungen wurden bereits im Herbst 1990 – kurz nach der Lockerung der politischen Situation in der damaligen Tschechoslowakei – durchgeführt und durch die Fürsprache von Wissenschaftlern des Hydrobiologischen Instituts der Akademie d. Wissenschaften in Budweis (u.a. Frau Dr. V. Straskrabova) schon so früh nach der „Wende“ möglich. Mangelnde Mittel, vielleicht auch mangelndes Interesse auf tschechischer Seite ließ die vereinbarte Zusammenarbeit mit tschechischen Wissenschaftlern verkümmern, so dass auch die Arbeit an diesen Kernen von Seiten des Geographischen Instituts der Univ. München zurückgestellt wurde. Mittlerweile haben tschechische Wissenschaftler (besonders v. VESELY u. BRIZOVA, Geologisches Landesamt Prag) – mit beachtlichen Finanzmitteln internationaler Funds (insb. EG) - eigene Sedimentuntersuchungen begonnen.

In Ergänzung zu den eingehenden Untersuchungen von Sedimentbohrkernen aus dem Rachelsee u. Großem Arbersee seien dennoch – zur Vervollständigung der Thematik „Seesedimente im böhmisch-bayerischen Grenzgebirge“ – die bisherigen Untersuchungen an den Bohrkernen des Schwarzen und des Teufelssees hier vorgestellt.

Datierung

Zur Datierung von Sedimentkernen steht eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung, doch leider sind in der Praxis davon meist nur wenige brauchbar. Sie müssen für die zu datierende Zeitspanne eine zufriedenstellende zeitliche Auflösung haben und im jeweiligen Sediment auch einen gut messbaren Effekt zeigen. So stehen zur Datierung von Kernen aus dem gesamten Post- und z.T. auch noch aus

dem Spätglazial unmittelbare Messungen zur Verfügung, wie etwa bei der Radiokarbonmethode (^{14}C-Messung, geomagnetische Messungen, der ^{210}Pb-Methode (für ca. 200 Jahre) und der ^{137}Cs-Methode (die letzten 50 Jahre) oder indirekte, lediglich vergleichende Verfahren, wie stratigraphische Konnektionen oder die Pollenanalyse.

Die – allerdings auch kostspielige – Radiokarbonmethode konnte bislang nicht angewendet werden, da im anorganischen Sediment des Spätglazials nicht genügend Kohlenstoff vorliegt und im Bohrkern (Durchmesser 3,6 cm) das Sediment des Postglazials aufgrund des hohen Wassergehaltes nur in vergleichsweise geringer Menge vorlag, so dass die Kohlenstoffmenge für das Standard-Radiokarbonverfahren ebenfalls nicht reichte (u.a. weil die geringe Sedimenttrokkenmasse für die übrigen Analysen benötigt wurde).

Es bot sich daher die – allerdings durchaus auch sehr aufwendige – Pollenanalyse an. Frau Vlasta Jankowska vom Botanischen Institut der Akademie der Wissenschaften in Brünn war freundlicherweise bereit, eine kursorische Pollenanalyse durchzuführen. Die Besonderheiten des Sediments erschwerten jedoch die Analyse, u.a. die hohe Wässrigkeit des pollenführenden postglazialen Sediments wie auch die fast völlige Pollenfreiheit des spätglazialen Sediments.

Folgende zeitliche Einstufung liegt im Schwarzen See nach V. JANKOWSKA vor:

Sedimenttiefe in cm	**Zeitliche Einstufung**
91	Subatlantikum 1 (Älteres S.)
101	Subboreal
111	Subboreal/Atlantikum 2
112	Atlantikum 1/Atlantikum 2
151	Atlantikum 1
161	Boreal/Atlantikum 1
171	Boreal
181	Praeboreal/Boreal
191	Praeboreal o. bereits Jüngere Dryas

Ab 191 cm häufen sich für V. Jankowska die Interpretationsprobleme, da sich das Pollenspektrum aus den typischen Pollen des späten Spätglazials mit holozänen Pollen und sogar Pollen von anthropogen verbreiteteten Pflanzen (*Ephedra fragilis, Juniperus, Rumex acetosa, Plantago lanceolata* usw.) mischt. Dies kann schlichtweg auf eine Verunreinigung im Labor zurückzuführen sein oder aber auf eine gestörte chronologische Abfolge im Sediment (Strömungen, hohe Wässrigkeit des Sediments, Bioturbationen u.a.). Denkbar sind auch Turbidite – gerade im Spätglazial – an dem sehr steilen Seeboden an der Karwandseite. Den Bohrkern an der tiefsten Stelle zu entnehmen, wie geschehen, um eine möglichst ungestörte zeitliche Abfolge im Sediment anzutreffen, könnte bei der starken Asymmetrie des Schwarzen Sees nachteilig gewesen sein.

Für die Probe in 202,5 cm Sedimenttiefe schreibt V. JANKOWSKA von sehr schönen Pollenkörnern, aber ebenfalls von einer „merkwürdigen Beimischung" (Spätglazial + Atlantikum 2), ebenso für die Proben in 220 cm, 230 cm, 290 cm, 300 cm und 310 cm (wobei die Zahl der Pollenkörner immer weniger werden). In der Probe 410 cm findet V. JANKOSWKA sehr wenig Pollenkörner, interessanterweise dazu auch einige Elemente aus dem Tertiär (*Carya, im Teritär über die ganze Nordkalotte verbreitete Pflanzen, zu denen z.B. die heutige nordamerikansiche Hickory-Nuß zählt*). Die Probe aus 430 cm sieht wie eine Mischung aus Spätglazial, Holozän und Tertiär aus. Außerdem weist V. JANKOSWKA auf häufiges Vorkommen der Alge *Botryococcus* hin. Für den Teufelssee steht eine Pollenanalyse aus den tschechischen Pollenanalytikern übergebenen Proben noch aus.

Glühverlust (als Parameter für den Gehalt an organischer Substanz)

Wird eine Probe des Sediments auf 450°C erhitzt, gehen die bis zu dieser Grenze volatilen Sedimentbestandteile in den gasförmigen Zustand über: einmal natürlich das Kristallwasser und z.B. gewisse Schwefelwasserstoffverbindungen, andererseits verbrennt die organische Substanz. Was zurückbleibt, ist die „Asche", also alle anderen mineralischen Reste (Karbonat, Tonminerale usw.). Da in der Regel der Gehalt an organischer Substanz den Hauptanteil der bei dieser Temperatur flüchtigen Bestandteile ausmacht, kann der Glühverlust als guter Parameter für den Gehalt an organischer Substanz dienen. Das Verhältnis an organischer Substanz zu verbleibender mineralischer Substanz ist ein guter Indikator für das Verhältnis von autochthoner Sedimentation (d.h. vornehmlich organischer Sedimentation aus dem See selbst, u.a. Algenreste, oder aus dem Einzugsgebiet) und allochthoner Sedimentation (minerogene Sedimentpartikel aus dem Einzugsgebiet.

Die Glühverlust-Kurve, die sich aus dem Sedimentkern des Schwarzen Sees ergibt, zeigt deutlich eine Zweiteilung: von 500 cm bis 240 cm Sedimenttiefe liegt der Gehalt an organischer Substanz zwischen 1-max. 5 %. Dieser Abschnitt des

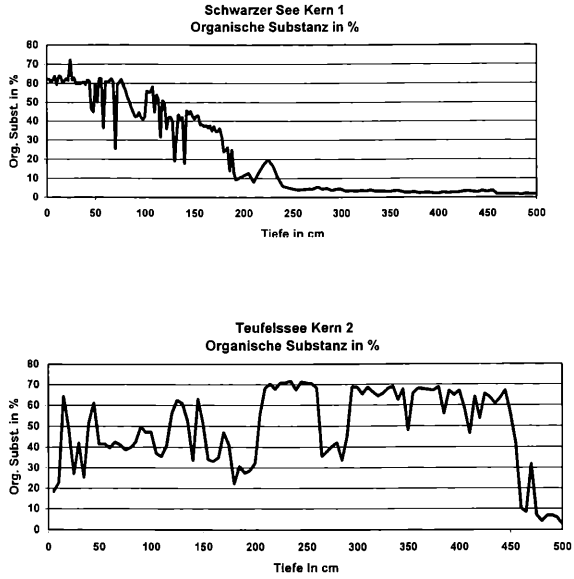


Abb. 1: Glühverlust (~ Gehalt an organischer Substanz) im Sediment des Schwarzen Sees und des Teufelssees

Sediments gehört damit mit Sicherheit in das Spätglazial, ist also älter als 10200 Jahre BP (=before present, vor heute). Damals wurde aus dem kaum vegetationsbedecktem, wenngleich vermutlich schon ganz vom Gletschereis freiem Einzugsgebiet viel anorganisches Verwitterungsmaterial in den See transportiert. Hinzu kommt, dass durch die Firnvergletscherung während des Würm-Hochglazials wie auch durch die periglazialen Prozesse im Spätglazial viel Verwitterungsschutt ganz unterschiedlicher Korngrößen angefallen ist, der diese sicherlich vergleichsweise hohe Sedimentationsrate im Spätglazial ermöglichte. Leider lässt sich dieser anorganische, tonige Sedimentabschnitt weder mit der Radiokarbonmethode (praktisch kein Gehalt an Kohlenstoff) noch mit der Pollenanalyse (vegetationsarmes Umfeld, dazu äußerst geringe Pollendichte im Sediment) datieren.

Ab 240 cm Sedimenttiefe nimmt der Gehalt an organischer Substanz zu – bis auf über 60%. Diese Zunahme erfolgt bis ca. 80 cm Sedimenttiefe – würde man eine Ausgleichsgerade einfügen – nahezu kontinuierlich. Im einzelnen sind jedoch beträchtliche Variationen erkennbar: Bemerkenswert sind zwei Peaks am Ausgang des Spätglazials bei 225 cm (20%) und bei 205 cm (12%). Es liegt nahe, diese beiden Peaks den spätglazialen Wärmephasen Bölling und Alleröd zuzuordnen. Gewissheit hierüber kann jedoch nur eine – sehr aufwendige (s. Problematik oben) - pollenanalytische oder eine Radiokarbondatierung bringen. Zumindest widerspricht diese Einordnung nicht der groben pollenanalytischen Datierung von V. JANKOWSKA (s. o.). Denkbar wäre allerdings auch, dass die Anstiegsphase der organischen Substanz von 240 cm – rd. 80 cm Sedimenttiefe noch zum Spätglazial zu rechnen ist. Dann allerdings wäre der vom Bohrkern erfasste postglaziale Sedimentabschnitt nur noch 80-0 cm lang – sicherlich zu wenig und im Widerspruch zur Zeitstellung der – wenngleich nur kursorischen – Pollenanalyse von V. JANKOSWKA. Allerdings ist zu bemerken, dass der große Wassergehalt im organischen Abschnitt dieses Sedimentkerns von über 90% wie auch bei den anderen drei Kernen aus den 4 Seen des bayerisch-böhmischen Grenzgebirges – zwangsweise dazu geführt hat, dass ein Teil des obersten, besonders wässrigen Sediments bei der Kernentnahme verloren ging. Es war – wegen des Wassergehaltes - sicherlich nicht viel Sedimentmasse, doch es ist nicht abzuschätzen, wie viele „Sedimentjahre" verspült wurden und daher nicht mehr vorliegen. Die Kerne aus dem Rachelsee (die pollenanalytisch datiert wurden) und aus dem Gr. Arbersee (die ^{14}C-datiert wurden) lassen auf einen Sedimentverlust an der Oberfläche schließen, der etwa 200-300 Jahre umfasst. Diesen Verlust der obersten Zentimeter bei der Bohrkernentnahme gerade in diesem sehr wässrigen Sediment hatten wir natürlich schon erwartet und vorsorglich auch kurze Kerne (die ungestörter an die Oberfläche zu bringen sind) entnommen und noch vor Ort eingefroren. Leider gingen diese Kerne durch unsachgemäße Lagerung verloren. Doch prinzipiell konnten wir damit zeigen, dass sich dieses Problem der Entnahme ungestörter Kerne der obersten Schicht durch die Entnahme von Gefrierkernen lösen lässt.

Bleibt man bei der wohl wahrscheinlicheren Annahme, dass der Abschnitt zwischen ca. 200-0 cm (nach pollenanalytischer Einstufung >191 – 0 cm) das Postglazial repräsentiert, so lassen sich im Sediment des Schwarzen Sees beachtliche Schwankungen des Glühverlustes (~ organischen Substanz) feststellen. Diese sind teilweise auf eine untersuchte Probe beschränkt (55, 70, 185 u. 155 cm nur 20%), im Bereich von 50cm u. von 95cm Sedimenttiefe liegen allerdings mehrere Proben bei nur knapp 40 %. Erstere können daher auch nur durch ein Einzelereignis bedingt sein (z.B. starker Niederschlag mit hohem anorganischem Schwebstoff-Eintrag). Wenn man allerdings letztere auch Einzelereignissen zuordnet, muß man schon von sehr intensiven Ereignissen ausgehen, die eine verstärkt anorganische Sedimentation von mehreren Zentimetern erreichten. Es könnte sich auch – innerhalb des allgemeinen Anstiegs der organischen Sedimentation – um einen längerfristigen Rückschlag der organischen Sedimentation handeln: um einen limnischen Rückschlag der Produktivität im See oder sogar um einen klimatischen Rückschlag. Letzterer müsste nicht zwangsweise mit bekannten großräumigen Klimaschwankungen korrelieren, da für Seen dieser Höhenstufe und Exposition durchaus auch Sonderbedingungen maßgeblich sein können.

Ein ganz anderes Bild des Anteils organischen Sediments (~ Glühverlust) vermittelt der Teufelssee. Zwar zeigt auch der unterste Abschnitt einen ähnlich geringen Anteil von rd. 5% wie der Schwarze See, allerdings nur von 500 cm bis 475 cm. Dieser Abschnitt ist eindeutig dem Spätglazial zuzuordnen und entspricht den im Schwarzen See erbohrten Sedimentabschnitten von 500 cm – 250 cm. Auch der erste Peak an organischer Substanz von 30% ist hier in 470 cm festzustellen und wohl mit dem Peak bei 225 cm im Schwarzen See zu vergleichen (erste oder zweite Erwärmungsphase im Spätglazial?). Dann steigt der Gehalt an organischer Substanz bis 450 cm nahezu abrupt auf knapp 70% an, verbleibt mit 10-20%iger Schwankungsbreite auf diesem Niveau bis in 385 cm Sedimenttiefe. Es erfolgt ein Rückgang auf unter 40% auf knapp 25 cm Sedimentlänge in der Tiefe von 385-365 cm, steigt dann wieder auf ein recht konstantes Plafond von 70% an, um dann bei 200 cm Sedimenttiefe sehr unstet zwischen 25% u. 65% zu schwanken. Nun gibt es das Gerücht, dass der Teufelssee in der Nachkriegszeit des Kalten Krieges als Testfläche für Bombenabwürfe diente. In der Tat würden Bombendetonationen dieses sehr wässrige organische Sediment heftig durcheinander gewirbelt haben. Offizielle Bestätigungen dieser Bombentests konnten noch nicht erlangt werden. Nach F. PFAFFL (frdl. Mitt.) wurde im Teufelssee auch nach Waffen und sogar nach dem berühmten Bernsteinzimmer gesucht. Erstere wurden auch in beachtlichen Mengen gefunden, letzteres leider nicht! Ist dem tatsächlich so, dann wäre der Teufelssee als „Geschichtsbuch der Natur" (MICHLER, G., 2000a) – zumindest im oberen, jüngeren Sedimentabschnitt - unbrauchbar. Vorteil der „Sedimentationsfalle See" ist es eben gerade, dass in der Regel chronologisch hinreichend einwandfrei sedimentiert wird, so dass daraus für einen längeren historischen bis prähistorischen Zeitraum bis in das Spätglazial (denn bis in diese – geologisch immer noch sehr „junge" Zeit reicht normalerweise die ungestörte Sedimentation in glazial geschaf-

fenen oder überprägten Seen) aus den Sedimenten – je nach Fragestellung – brauchbare Rückschlüsse gezogen werden können. Man könnte natürlich auch davon ausgehen, dass der gegenüber dem Schwarzen See kleinere Teufelssee durch externe Ereignisse, z.B. Hochwässer, in unregelmäßigen Zeitabständen eine heftige, allochthone minerogene Sedimentzufuhr erhalten hat, die sich – im Vergleich zur sehr geringen organischen Sedimentation in einem wenig produktiven See in dieser Höhenstufe – in relativ dicken Lagen von Sedimenten mit höherem anorganischen Anteilen zeigen würden. Zumindest muß angenommen werden, dass der Teufelssee eine weit komplexere Sedimentationsgeschichte aufweist als der Schwarze See.

Vergleicht man den Gehalt an organischer Substanz in den Bohrkernen von Rachelsee, Gr. Arbersee, Schwarzer See und Teufelssee, so lassen sich für alle vier Seen folgende Beobachtungen machen:

Spätglazial	**organische Substanz**	**vermutliche Grenze des Spätglazials im Sediment**
Rachelsee	2-4%	in 200 cm Sedimenttiefe
Gr. Arbersee	4-5%	in 320 cm Sedimenttiefe
Schwarzer See	2-5%	in 240 cm Sedimenttiefe
Teufelssee	4-6%	in 475 cm Sedimenttiefe
Postglazial		
Rachelsee	60-70%	Relativ konstante organische Sedimentation
Gr. Arbersee	50-60%	Relativ konstante organische Sedimentation
Schwarzer See	25-65%	Über Postglazial ansteigend, unruhig
Teufelssee	25-70%	älterer Abschnitt relativ ruhige Sedimentation, jüngerer Abschnitt stark wechselnde Gehalte

Aus diesem stratigraphischen Vergleich der beiden Diagramme lassen sich damit auch folgende Sedimentationsraten für das Postglazial ableiten (Werte für Gr. Arbersee u. Rachelsee aus MICHLER 2000, a. u. b.). Es handelt sich hierbei nicht um die sedimentierte Masse, sondern lediglich um die Sedimentationshöhe. In allen vier vorgestellten Seen war die Masse des sehr wasserhaltigen organischen Sediments des Postglazials nur schwer bestimmbar, da sie möglichst ungestört für all die anderen Untersuchungen benötigt wurde.

See	**Sediment-mächtigkeit**	**Sedimentations-rate**
Großer Arbersee	330 cm	0,32 mm/a
Rachelsee	230 cm	0,23 mm/a
Schwarzer See	240 cm	0,24 mm/a
Teufelssee	450 cm	0,44 mm/a

Sedimentmächtigkeit: hier gleich organisches Sediment des Postglazials (ca. 10200 Jahre vor heute). Sicher ist die Sedimentmächtigkeit um mindestens 20-30 cm höher, da ein – nur zu schätzender – Anteil des obersten Sediments bei der Kernentnahme verloren ging.

Karbonatgehalt im Sediment

Die Bestimmung des Karbonatgehaltes wurde manometrisch nach der Methode SCHEIBLER durchgeführt. Die Ergebnisse sind relativ unspezifisch. Die Gehalte liegen unter 10% (Rachelsee), zwischen 1-12% (Großer Arbersee), 2-23% (Schwarzer See) und 1-8% (Teufelssee). Bei allen diesen Karbonatwerten (besonders aber bei den relativ hohen Werten aus dem Schwarzen See) ist zu beachten, dass die manometrische Methode nach Scheibler das durch Zugabe von HCl aus dem Karbonat frei werdende CO_2 misst. In der Regel ist der entstehende Gas-Überdruck auch tatsächlich dem vorhandenen Karbonat zuzuordnen. Doch in entsprechend gelagerten Fällen können auch andere Gase (z.B. H_2S aus der organischen Substanz) entstehen und zu hohe Karbonatwerte vortäuschen. Zudem konnte für diese Untersuchung nur eine geringe Sedimentmenge eingesetzt werden, um die übrigen Analysen nicht zu gefährden. Da die Hauptmessfehler dieser Methode als absolute Beträge anfallen, sind zudem die geringen Messwerte zwischen 0-10% mit einem hohen relativen Fehler behaftet. So ist – über die Feststellung der Karbonatgehalte an sich – keine weitere Interpretation sinnvoll. Dass in den Sedimenten dieser Seen mit so geringen Karbonatgehalten gerechnet werden muss, ist offensichtlich, liegen doch alle Seen in rein kristallinem Einzugsgebiet:

Schwarzer See	Osser-Glimmerschiefer
Teufelssee	Osser-Glimmerschiefer (mit Granat-Einschlüssen u. „Quarziten“)
Rachelsee	Cordierit-Gneis
Gr. Arbersee	Cordierit-Sillimanit-Gneis

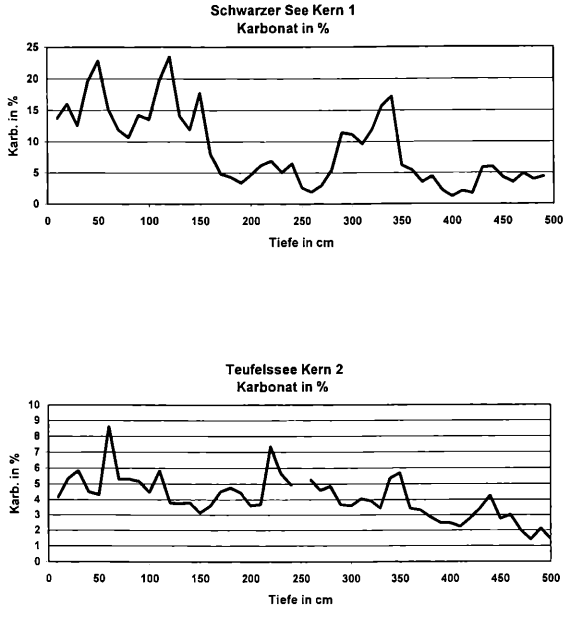


Abb.2: Gehalt an Karbonat im Sediment des Schwarzen Sees und des Teufelssees

Alkalimetalle Natrium und Kalium sowie Lithium

Die Alkalimetalle Natrium und Kalium fallen im Einzugsgebiet u.a. als Verwitterungsprodukte der Feldspäte an, haben jedoch durch ihre hohe Reaktivität eine sehr eigene, verwikkelte Dynamik im Verwitterungs- Transport- und Sedimentationsgeschehen, die hier nicht dargestellt werden kann. Auffallend in beiden Seen ist die hohe Übereinstimmung der Gehalte von Kalium und Lithium im Sediment: so werden im Schwarzen See z.B. die Peaks in 45,70, 135,145, 210....bis 445 cm Tiefe sehr gut in beiden Diagrammen abgebildet. Auffallend auch die geringen Gehalte von 0-ca. 170 cm, dann hohe Gehalte bis rund 300cm sowie ein Anstieg in 445 cm Sedimenttiefe. Ebenso deutlich ist die Übereinstimmung im Teufelssee, wo der spätglaziale Anstieg in 450 cm Sedimenttiefe (Übergang zum Spätglazial mit hohem mineralischen Anteilen) besonders deutlich ausfällt.

Man beachte, dass die Gehalte von K in mg/g skaliert sind (also von ca. 1 mg/g bis 10 mg/g reichen), die Gehalte von Li jedoch in µg/g (mit Konzentrationsvariation von 5-160 g/g). Nun ist Li als Alkalimetall der ersten Gruppe dem Kalium chemisch natürlich sehr ähnlich. Doch es ist dennoch erstaunlich, wie bei einem Konzentrationsunterschied von rd. 1:100 beide Elemente in einer von so vielen Faktoren gesteuerten natürlichen Umgebung in so ähnlichem Konzentrationverlauf im Sediment vorliegen können.

Dagegen ist die Übereinstimmung von Na mit K und Li kaum erkennbar - eine Erklärung hierzu kann noch nicht gegeben werden.

Erdalkalimetalle Calcium u. Magnesium sowie Barium u. Strontium

Wesentliche Elemente des mineralischen Kreislaufs sind Si, Fe, Ca und P. Dieser verläuft natürlich wesentlich langsamer als z.B. der hydrologische Zyklus (KUMMERT u. STUMM 1992). Unter den Erdalkalimetallen ist besonders das Calcium wichtig, ein wichtiges Verwitterungsprodukt. Es verhält sich nahezu gegenläufig wie das um zwei Drittel weniger vorhandene Magnesium - klar erkennbar z.B. in 130 u. 140 cm Tiefe in beiden Seen. Offensichtlich ist Magnesium im Sediment des Spätglazials mit weitaus höheren Konzentrationen vertreten als im Postglazial:

Spätglazial

Schwarzer See ca. 8 mg/g Teufelssee 8 mg/g

Postglazial

Schwarzer See ca. 1-2 mg/g Teufelssee 1-4 mg/g

Dagegen nimmt Calcium im Sediment des Postglazials gegenüber dem Spätglazial leicht zu, der Teufelssee zeigt im allgemeinen, in der Mitte des Postglazials eine besonders starke Variation. Bei beiden Seen weist Strontium einen dem Calcium sehr ähnlichen Verlauf auf, bei Barium sind ebenfalls beachtliche, wenngleich geringere Übereinstimmungen festzustellen. Die Elemente Ca, Sr und Ba werden also ihren Ähnlichkeiten als Erdalkalimetalle auch in diesem sehr komplexen Verwitterungs-, Transport- und Sedimentations-

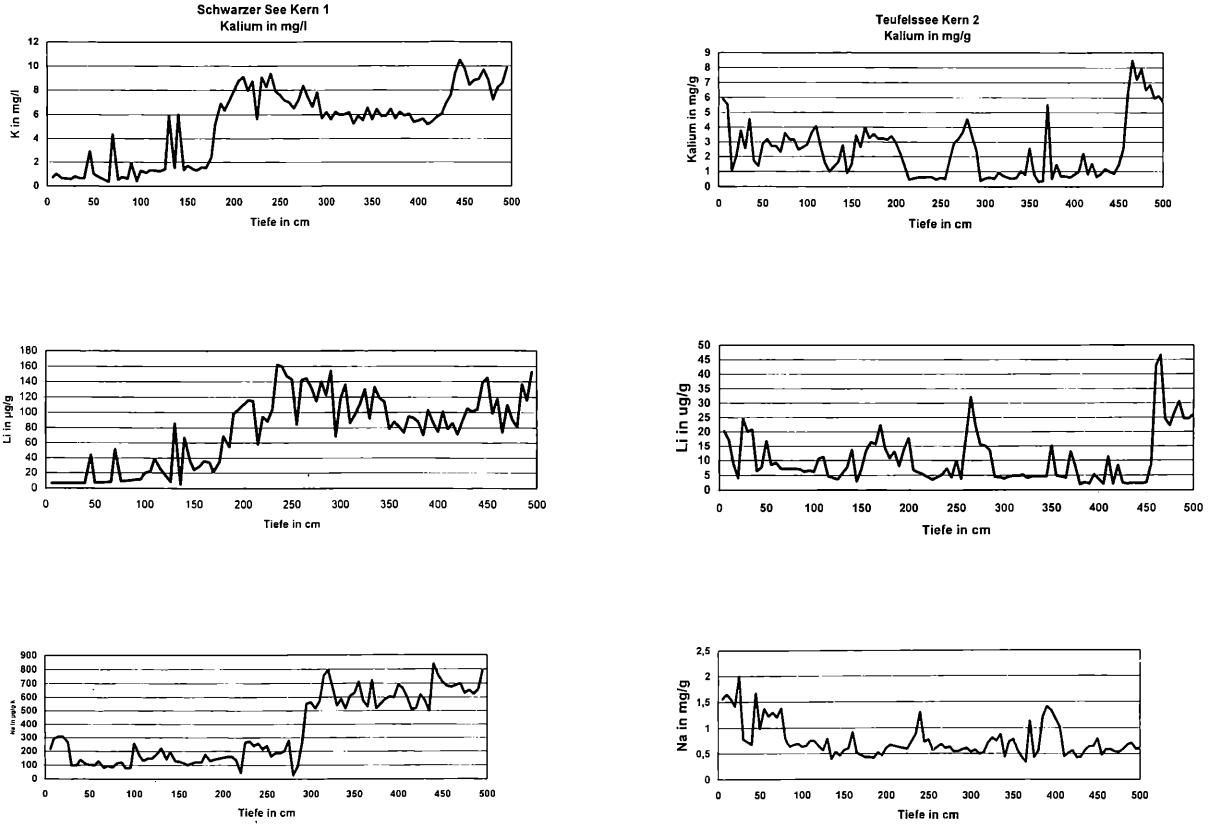


Abb. 3: Gehalt an Elementen der Alkali-Gruppe (Natrium, Kalium, Lithium) im sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

©Ges. zur Förderung d. Erforschung von Insektenwanderungen e.V. München, download unter www.zobodat.at

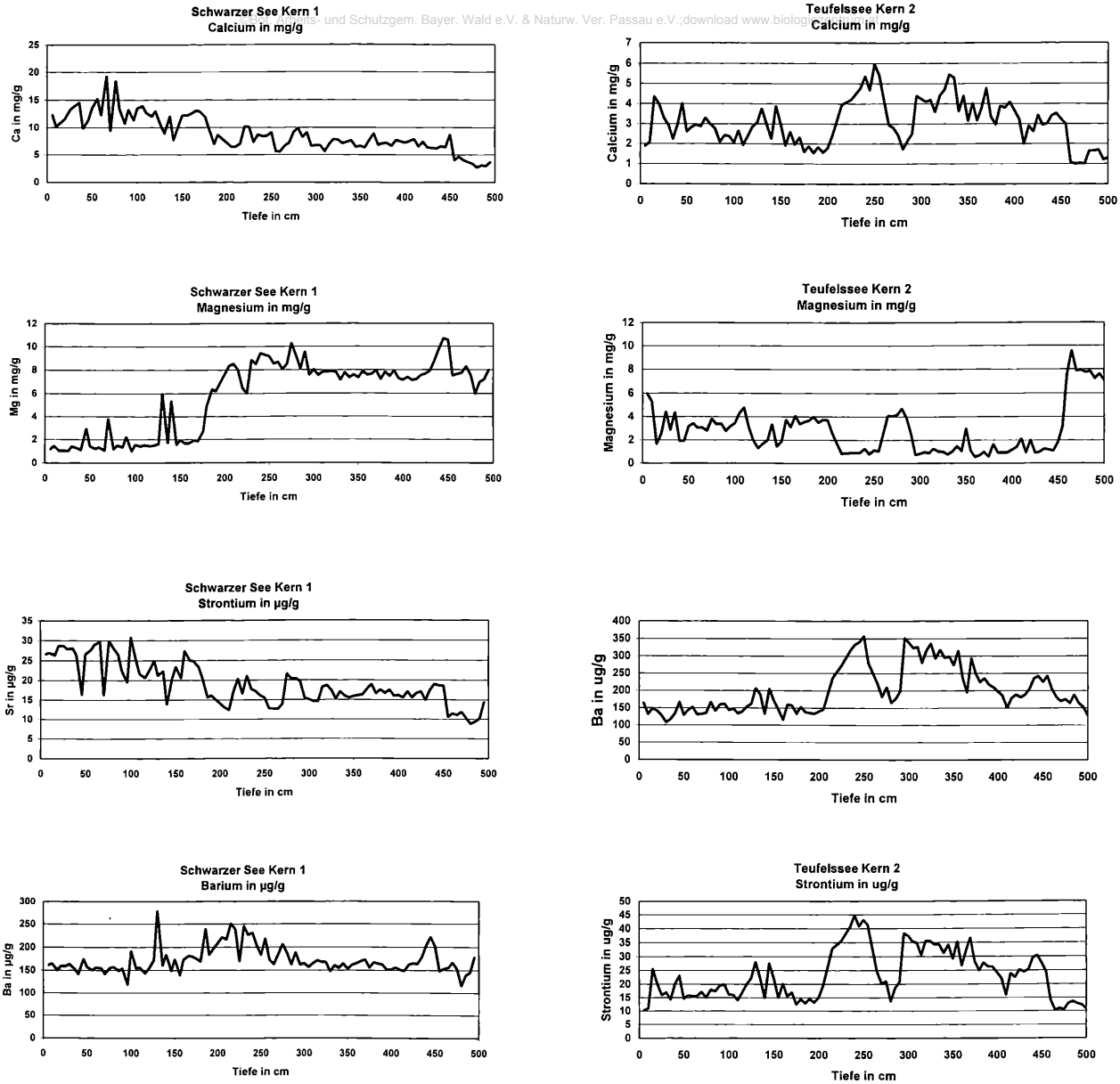


Abb. 4: Gehalt an Elementen der Erdalkali-Gruppe (Calcium, Magnesium, Strontium und Barium) im Sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

geschehen (unter Einschluss der biogenen Phase) gerecht. Aber auch bei Magnesium wird die bekannte Regelhaftigkeit deutlich, dass dieses Element zwar auch zu den Erdalkalimetallen zählt, aber als erstes Element seiner Gruppe sich chemisch und wohl auch biochemisch vielfach anders verhält.

Erdmetalle Bor und Aluminium

Aluminium ist bekanntlich ein ubiquitär in der Erdkruste auftretendes Element und liegt im Sediment beider Seen mit Konzentrationen von 20-35 mg/g vor. Ein signifikanter Unterschied zwischen Postglazial und Spätglazial – trotz des Sedimentwechsels von organischem zu anorganischem Sediment – lässt sich nicht feststellen. Man kann davon ausgehen, dass dieses Phänomen eher zufällig ist, dass also das spätglaziale anorganische Konzentrationsniveau von Al im Sediment nur in diesen Seen zufällig mit dem postglazialen Konzentrationsniveau des organischen Sediments übereinstimmt.

Schwermetalle Eisen, Mangan sowie Phosphor

Eisen, mit 3,5% in der Erdkruste vertreten, kommt auch in den Sedimenten in relativ hohen Konzentrationen vor (30-70 mg/g = 0,3-0,7%), Mangan – eng damit vergesellschaftet – ist nur mit 1/100 der Konzentration vertreten. Beide Elemente spielen in der Biomasse als Spurenelemente eine wichtige Rolle und durchlaufen auf dem Weg in die Sedimente viele kleine eigenständige Zyklen (s. SIGG u. STUMM 1982), welche durch die Biomasse kontrolliert werden. In den Sedimenten angelangt, sind sie den organischen Prozessen jedoch für lange Zeit entzogen. Dies trifft aber nicht für Seesedimente zu, wo unter gewissen Bedingungen (z.B. reduzieren-

Arbeitsgemeinschaft Landschafts- und Schutzgem. Bayer. Wald e.V. & Naturw. Ver. Passau e.V.; download www.biologiezentrum.at

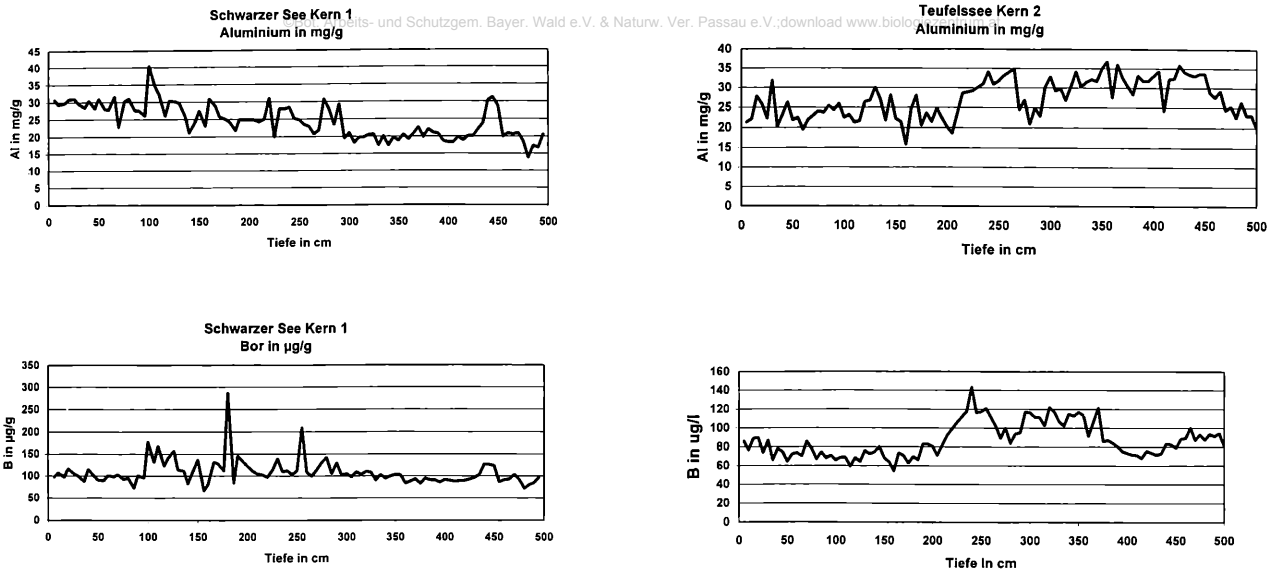


Abb. 5: Gehalt an Erdmetallen (Aluminium und Bor) im Sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

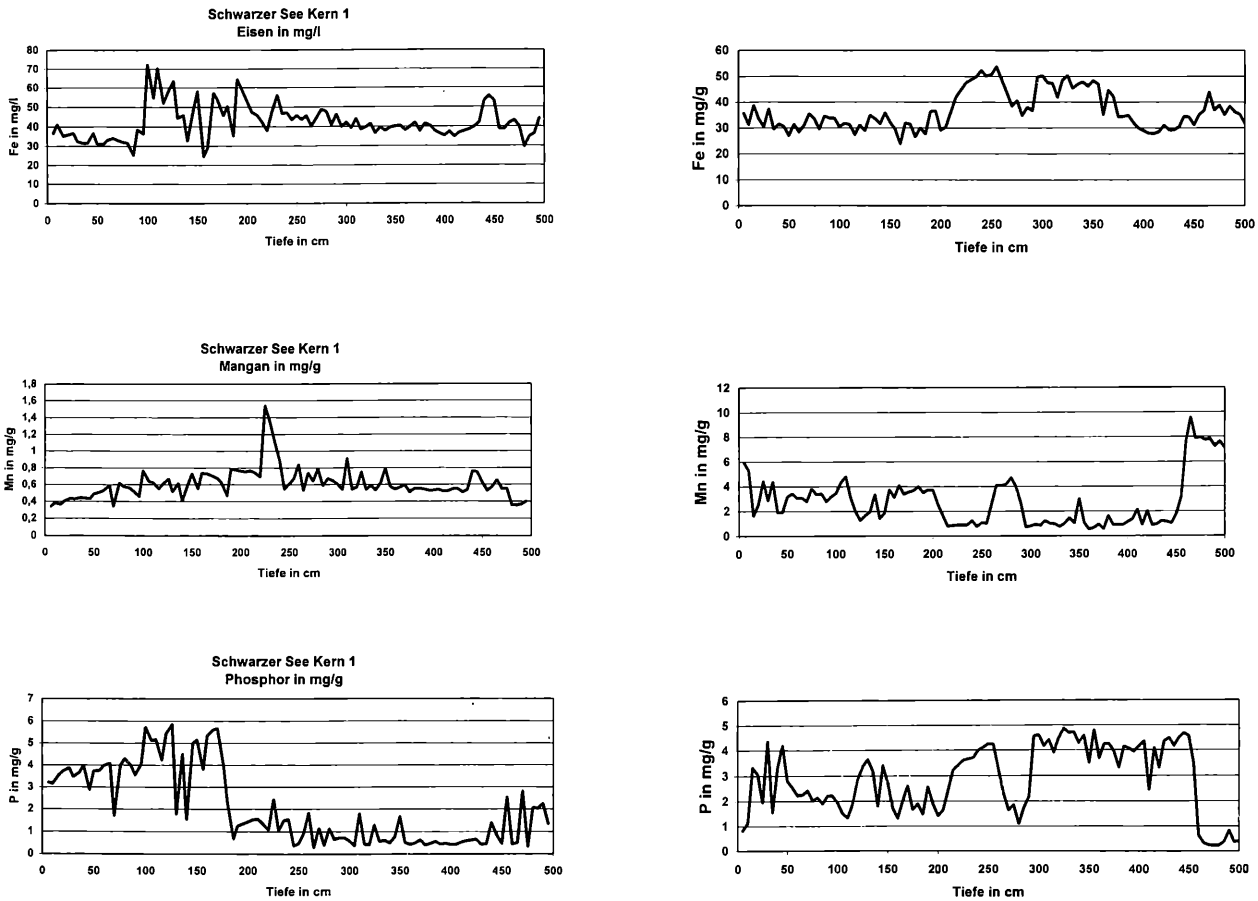


Abb. 6: Gehalt an Eisen, Mangan und Phosphor (gesamt) im Sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

Arbeits- und Schutzgem. Bayer. Wald e.V. & Naturw. Ver. Passau e.V.;download www.biologiezentrum.at

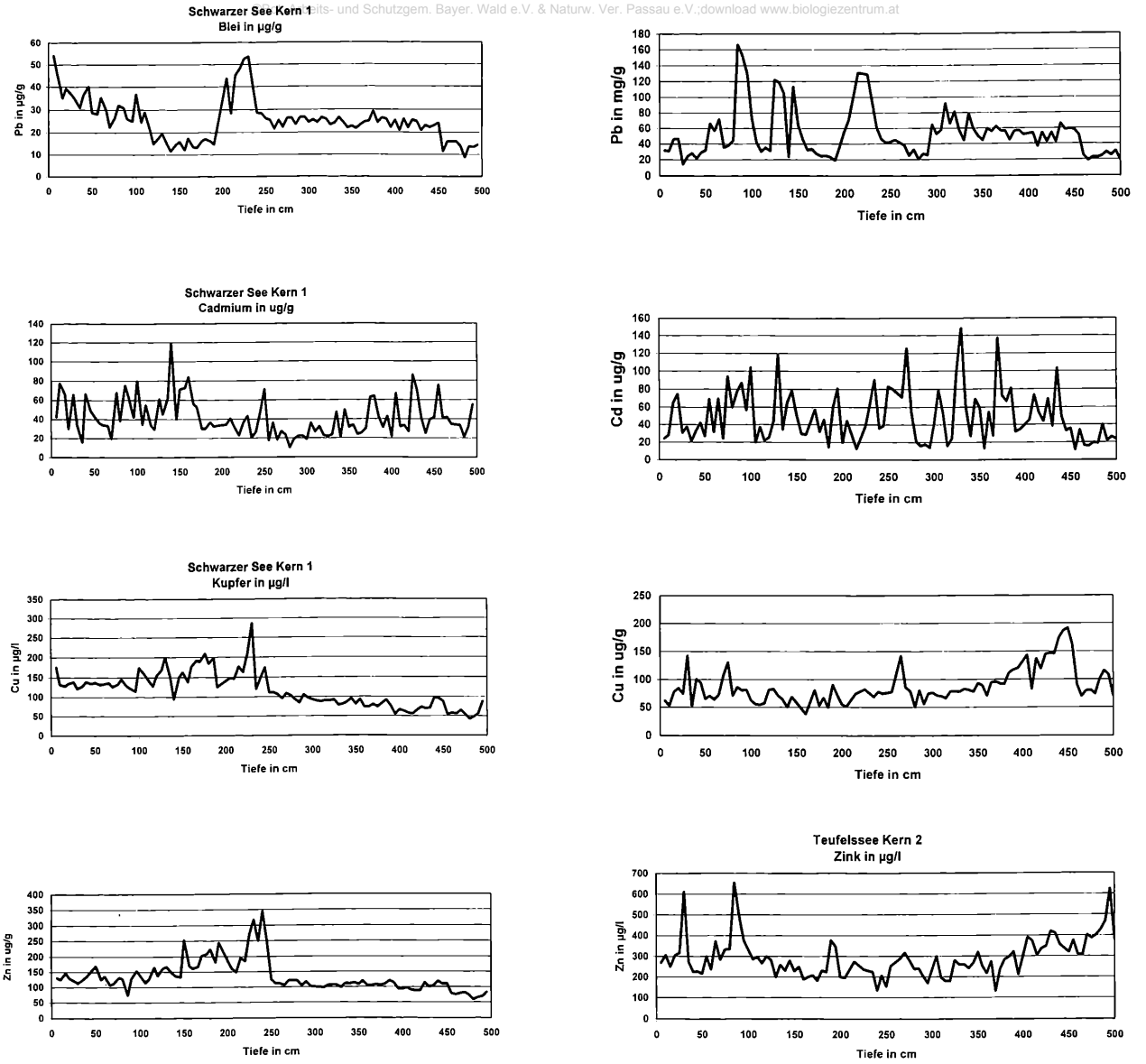


Abb. 7: Gehalt an Blei, Cadmium, Kupfer und Zink im Sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

des „Milieu" aufgrund von Sauerstofffreiheit) Rücklösungen stattfinden können. Ob derartige Verhältnisse – üblicherweise charakteristisch für stark eutrophe Seen – in den vorgestellten Bergseen des Bayerischen Waldes überhaupt in nennenswerter Weise aufgetreten sind, ist unklar und eher unwahrscheinlich (Zufluß sauerstoffreichen Wassers, geringe Biomasse-Produktivität u.a.). Grundsätzlich ist es schwierig, Analysenwerte der vorgestellten Art „prozessorientiert" (d.h. welche chemisch-physikalisch-biologischen Prozesse führten zur gemessenen Konzentration?) zu interpretieren, zu eigenartig sind die Verhältnisse in diesen Bergseen geringer Größe in kristallinem Einzugsgebiet. Wissenschaftliche Literatur für diese Problematik gibt es mehr oder minder reichhaltig und einschlägig für Seen in Kanada oder Schweden, nicht jedoch für die natürlichen Bergseen des Bayerischen/Böhmischen Waldes. Wie komplex diese Prozesse sind, lässt schon ein Blick z.B. in das Buch von Sigg u. Stumm (1989) erahnen, wo immer noch modellhafte (d.h. stark vereinfachte) Prozesse der aquatischen Chemie beschrieben werden und keineswegs die hochkomplexen Vorgänge in der unmittelbaren Natur! Daher werden hier nur die Analysenergebnisse mit einigen wesentlichen Schlaglichtern zur Interpretation vorgestellt, jede weitere Interpretation müsste unvollständig sein und den Rahmen dieser Publikation sprengen.

Bei Betrachtung des Konzentrationsverlaufs von Eisen und Mangan fällt auf, dass im anorganischen Bereich des Spätglazials beide Elemente miteinander korrelieren, nicht so im Postglazial, wo eher Gegenläufigkeit vorherrscht. Man kann aufgrund des sehr ähnlichen Konzentrationsverlaufs davon ausgehen, dass der Abschnitt des Eisengehaltes von 280cm – 100cm im Schwarzen See dem Abschnitt von

460-210cm im Teufelssee entspricht. Damit ist die Sedimentationsrate im Teufelssee für diese 250 cm Sedimentkernlänge etwa 1/3 höher als im Teufelssee.

Das Element Phosphor liegt in der Regel vornehmlich als Fe-Phosphat vor. Diese Korrelation ist sowohl im Teufelssee erkennbar (Peak bei 250 cm, Minimum bei 280cm und im Spätglazial ab 460cm erkennbar) wie auch im Schwarzen See im Bereich von 200 cm bis ca. 90 cm. Allerdings muß konzidiert werden, dass Phosphor so verwickelten Umsetzungen zwischen der organischen und anorganischen Phase in einem See unterliegt, dass eine Totalanalyse des Phosphors über ICP-AAS nur verschwommene Aussagen zulässt. Es müsste mittels nasschemischer Verfahren (hoher Materialverbrauch) mit anschließender spektralphotometrischer Analyse (bekannt die „Molybdän-Methode") zwischen anorganischem und Gesamt-Phosphorgehalt (Differenz: organisch gebundener Phosphor) unterschieden werden.

Schwermetalle Kupfer, Zink, Blei und Cadmium

Diese Schwermetalle gelten als die Elemente, die vom Menschen direkt oder indirekt in die Umwelt freigesetzt werden, direkt durch unmittelbare Verwendung, indirekt durch massive anthropogene Eingriffe in den Stoffhaushalt der Natur (z.B. Rodungen, Verbrennung von schwermetallhaltigen Stoffen, z.B. Kohle). Leider muss davon ausgegangen werden, dass beim Bohrvorgang das stark wässrige Sediment an der Sedimentoberfläche verspült oder verloren gegangen ist, so dass die beiden hier vorgestellten Bohrkerne die vergangenen letzten Jahrhunderte mit möglicherweise stark anthropogen bedingten Anreicherungen von schwermetallhaltigem Sediment nicht widergeben können. Lediglich beim Bleigehalt im Schwarzen See könnte man eine derartige jüngste Zunahme des Bleigehaltes annehmen. Interessant ist, dass im Schwarzen See der Gehalt dieser Schwermetallgruppe vergleichsweise konstant bleibt, aber am Übergang zum Postglazial bei 250 cm einen massiven Anstieg um das Dreifache erfährt. Lediglich bei Cadmium bleibt dieser Anstieg relativ unklar. Dieses Phänomen tritt besonders häufig in Bergseen auf. In diesen Bergseen kann mit Beginn des Postglazials das binnen weniger Jahrzehnte (!) einsetzende kräftige Algenwachstum auf einen hohen Vorrat an Mineralien aller Art aus dem frisch verwitterndem Einzugsgebiet, auch von Schwermetallverbindungen, zurückgreifen, diese inkorporieren und bei der anschließenden Sedimentation im Sediment deponieren. Im Laufe des Postglazials nimmt dieser Vorrat zügig ab, bei Blei und Zink am augenfälligsten. Im übrigen sind die Konzentrationen im anorganischen Sediment des Spätglazials nicht signifikant von denen des Postglazials verschieden (sieht man vom leicht höheren Cu-Gehalt im Postglazial des Schwarzen Sees ab), was wiederum als „Zufall" für die Verhältnisse dieser beiden Seen anzusehen ist. Auch im Teufelssee ist in rd. 455 cm Sedimenttiefe ein Anstieg im anschließenden organischen Sediment des Postglazials zu beobachten – mit Ausnahme von Zink, das eher leicht abnimmt.

Element in g/g	Schwarzer See		Teufelssee	
	Postglazial	Spätglazial	Postglazial	Spätglazial
Kupfer	130-200	50-100	50-140	70-120
Zink	100-250	70-110	50-130	100-150
Blei	12-50	10-25	20-150	20-30
Cadmium	20-100	20-70	20-100	18-30

Die Konzentrationen von Pb korrelieren im Postglazial des Teufelssees weitgehend mit dem Gehalt an organischer Substanz, die von Cu, Zn und Cd ebenfalls, wenngleich weniger scharf. Im Postglazial des Schwarzen Sees ist die Korrelation dieser Schwermetalle mit dem Gehalt an organischer Substanz nur stellenweise zu beobachten.

Schwermetalle Chrom, Nickel, Titan, Vanadium

Auch diese Schwermetalle korrelieren in ihren Konzentrationen im Sediment miteinander. Bei Cr, Ti und V weist der Schwarze See ein eigenes Konzentrationsniveau im frühen Spätglazial von 430-500 cm auf, das besonders bei Titan auffällig ist. Der kräftige Anstieg der organischen Substanz im Übergang zum Postglazial spiegelt sich in einer erheblichen Konzentrationsverringerung wieder, besonders bei Ni, Ti u. V, wenig deutlich bei Cr. Bei V und Ti liegt der Gehalt im stark organischen Sediment des Postglazials erheblich niedriger als im anorganischen Sediment des Spätglazials, bei Ni und Cr ist dieser Unterschied nur marginal. Auffallend ist der Anstieg von Ni im Zeitraum einer ersten Zunahme der organischen Substanz bei 225 cm (spätglaziale Erwärmungsphase: Bölling oder Alleröd?), der – allerdings wenig ausgeprägt – auch bei Cr, Ti und V zu beobachten ist. Beim Teufelssee liegt der Gehalt von Ti, V und Ni im Spätglazial ebenfalls unterhalb von 450 cm Sedimenttiefe signifikant über dem Konzentrationsniveau des Postglazials, bei Cr sind beide Konzentrationen fast identisch. In weiten Bereichen liegt zwischen diesen Elementen eine mehr oder minder offensichtliche Kongruenz des Konzentrationsverlaufs vor.

Element in ug/g	Schwarzer See		Teufelssee	
	Postglazial	Spätglazial	Postglazial	Spätglazial
Chrom	25-45	30-50	25-35	40
Nickel	20-50	35-40	10-60	40-60
Titan	700-1300	1200-2100	700-1300	1500-2100
Vanadium	20-30	40-55	20-100	45-50

Das Einzugsgebiet beider Seen liegt bekanntlich im Glimmerschiefer-Gebiet des Ossers. Daher ist es nicht verwunderlich, ja zu erwarten, dass die Konzentrationsniveaus der wichtigsten Schwermetalle in beiden Seen sehr ähnlich sind.

Vergleicht man die Konzentrationen aus den beiden Seen

©Bot. Arbeits- und Schutzgem. Bayer. Wald e.V. & Naturw. Ver. Passau e.V.;download www.biologiezentrum.at

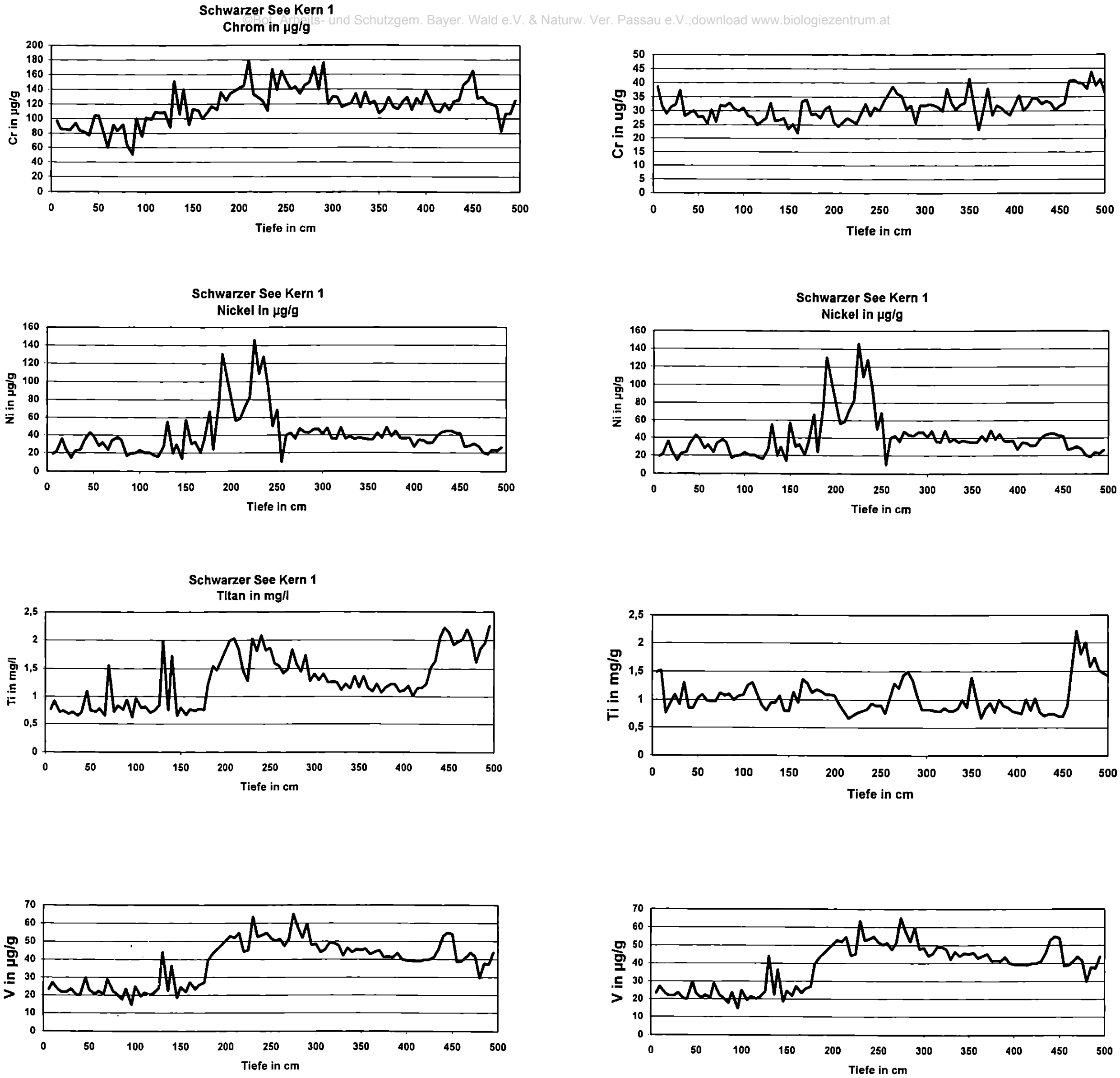


Abb. 8: Gehalt an Chrom, Nickel, Titan und Vanadium im Sediment des Schwarzen Sees und Teufelssees

mit Konzentrationen in diversen Standards (hier Tongesteinsstandard und Granitstandard), so ergibt sich folgende Zusammenstellung (s. nächste Seite im Anschluß an das Literaturverzeichnis).

Literatur

BRIZOVA, E. (1991): Vysledky palynologickeho vyzkumu v roce 1989. – Zpr. geol. Vyzk. v. Roce 1989, Praha, p. 27-29

BRIZOVA, E. (1991): Vysledky pylovych analyz v roce 1990. – Zpr. Geol. Vyzk. v Roce 1989, Praha, p. 20-21

FIRBAS, F. (1949/52): Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. 2 Bände

KUMMERT, R. u. STUMM, W. (1992): Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. Stuttgart

MICHLER, G. (2000): Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Großen Arbersee (Glühverlust, ^{14}C-Datierung, Isotope, Alkali-, Erdalkali-, Erd- und Schwermetallgehalte). In: Der Bayerische Wald, S. 3-16

MICHLER, G. (2000): Untersuchungen an Sedimentkernen aus Seen im Bayerischen Wald und Böhmischen Wald. Teil 1: Rachelsee. In: Der Bayerische Wald, S. 3-17

REISSINGER, A. (1930): Der Schwarze See im Böhmerwald. – Die ostbayer. Grenzmarken, Monatsschrift d. Inst. F. Ostbayer. Heimatforschung 3

REISSINGER, A. (1931): Schlammuntersuchungen am Schwarzen See im Böhmerwald. – Stuttgart

Rother, K. (1995/1): Die eiszeitliche Vergletscherung der deutschen Mittelgebirge im Spiegel neuerer Forschungen. – Pet. Geograph. Mitt., 139

SIGG, L. u. STUMM, W. (1989): Aquatische Chemie. Stuttgart

TUREKIAN, K. u. WEDEPOHL, K. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth´s crust. – Bull. Geol. Soc. Am.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Niederbayern, Naturw. Ver. Passau e.V.;download www.biologiezentrum.at

Verfasser

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

Tabelle der geochemischen Konzentrationen in den analysierten Sedimentkernen aus Schwarzer See, Teufelssee, Rachelsee und Großer Arbersee – jeweils für das Spätglazial und für das Postglazial. Dazu einige Vergleichswerte sogenannter „Standards".

Sediment	Na	Li	K	Ca	Mg	Ba	Al	B	P
Granit									
Tongestein									
Spätglazial									
Schwarzer See	600-800	80-120	6000-10000	5000-8000	8000	160	20000	100	500
Teufelssee	400-800	25-45	6000-8000	1500	8000	150	20000	85	400
Rachelsee				3000	10000-12000		30000		2000-4000
Gr. Arbersee	500-1500	8 bis 14	600-1000	3800	10000		15000-30000		3000-5000
Postglazial									
Schwarzer See	100-300	10 bis 40	1000	9000-15000	1000	160	20000-30000	100-150	1000-6000
Teufelssee	400-800	5 bis 20	1000-4000	2000-5000	1000-4000	150-300	20000-30000	80-120	1000-4000
Rachelsee				6000-10000	1000		30000		3000-7000
Gr. Arbersee	300-2000	6 bis 12	400-600	7000-9000	1700		10000-20000	2 bis 25	

Sediment	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Ti	V
Granit	29600	540	30	60	19	22	15		
Tongestein	47200	850	45	95	20	90	68		
Spätglazial									
Schwarzer See	40000	500	50-100	100	30	30-40	20-40	1000-2000	40
Teufelssee	35000	300	70	150-200	25	40	50-90	1500-200	50
Rachelsee	30000	310	80-100	150-200	20-40		60-80	1500-2000	
Gr. Arbersee	30000	800-1000	50-70		10 bis 20	60-100	60-90		80-120
Postglazial									
Schwarzer See	30000-60000	400-600	100-200	100-300	15-30	30-50	20-120	800-2000	20-60
Teufelssee	30000-50000	100-300	50-150	50-200	20-140	25-40	Okt 40	800-1300	30-40
Rachelsee	10000-18000	40	40-80	70-180	20-120		20-40		
Gr. Arbersee	10000-18000	200-800	40-100		10 bis 40	30-60	10 bis 40	700-1000	40-60

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Der Bayerische Wald

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 15_2

Autor(en)/Author(s): Michler Günther

Artikel/Article: Untersuchungen an Sedimentkernen aus dem Schwarzen See (Cerne jezero) und Teufelssee (Certovov jezero) im Böhmerwald (Tschechien) (Glühverlust, Karbonatgehalt, Alkali-Erdalkali-Erd- und Schwermetallgehalte) 20-31