

Thomas HÜBENER, Sven ADLER, Uwe SELIG

Nutzung einer Diatomeen - Gesamtphosphat-Korrelation zur Trophieindikation

Erste Ergebnisse aus mecklenburgischen Seen

Abstract

The aim of this study was to develop a diatom - total phosphorus (TP) transfer function by weighted averaging (WA) regression. This function was based on WA - calculated TP - optima and tolerance values (against TP) of altogether 430 diatom taxa. Two different calibration sets of diatom assemblages were used: Periphytic diatoms from 17 lakes (68 samples) as well as surface sediment diatom assemblages from the deepest point of 35 lakes in Mecklenburg-Vorpommern (Germany). The TP-concentrations of the calibration sets ranged from 0,011 to 0,93 mg/l (meso- to hypertroph). This transfer function can be applied for indication of TP-concentrations in carbonatrich lakes in Northern Germany, as well as for reconstruction of postglacial trophic (TP) development of lakes by studying fossil diatom assemblages in sediment cores of special lakes.

Einleitung

Diatomeen (Bacillariophyceae) sind in sowohl in pelagischen Lebensräumen als auch in Aufwuchsgemeinschaften verschiedenster Substrate die dominante Gruppe photosynthetisch aktiver Mikroorganismen. Die vergleichsweise gute systematische Kenntnis innerhalb der Klasse ermöglicht eine Zuordnung der Organismen mit einer hohen taxonomischen Schärfe. Neben dieser leichten Zugänglichkeit ist die weitere Handhabung, Präparation und Lagerung ebenfalls unproblematisch und prädestiniert die Gruppe für diverse Untersuchungsfelder. Ein Anwendungsgebiet ist die Bioindikation, d.h. die Nutzung der Kenntnis zur Ökologie der einzelnen Taxa zur Beschreibung ihres Fundortes. Dabei sind erwartungsgemäß viele Taxa ohne strenge Verbreitungsoptima und als solche im Sinne einer Bioindikation nicht nutzbar, andere hingegen zeigen als stenöke Arten eine geringe ökologische Varianz und sind gute bzw. ausgezeichnete Indikatoren. Das Finden und Bewerten dieser Optima und Varianzen der Verbreitung von Diatomeen ist Gegenstand dieser Arbeit.

Klassische Indikationssysteme basierten auf umfangreichen empirischen Erhebungen zur Verbreitung bezüglich organischer ('saprober') Gewässerbelastungen (Kolkwitz & Marsson 1908, 1909; Sladeczek 1973; Rott *et al.* 1997). Im Zuge der Diskussion um die Anwendbarkeit von Saprobiensystemen auf trophisch dominierte Gewässer (Seen, Talsperren, rückgestaute Fließgewässer) wurde die Suche nach

Trophieindikatoren forciert. Hinzu kam, daß im Zuge des großflächigen Kläranlagen (KA) - Ausbaus der Prozeß der Saprobie in die KA vorverlagert wurde, die Gewässer andererseits mit den mineralischen Abläufen zusätzlich eutrophiert wurden, so daß die Anwendung der Trophie-Indikation auch für Fließgewässer relevant wurde (Schmedje *et al.* 1998).

Die Möglichkeit zur Indikationsnutzung wird darüber hinaus schwerpunktmäßig in der Paläobotanik genutzt. Diatomeenschalen sind über Jahrtausende in Sedimenten relativ stabil, d.h. sie dokumentieren neben anderen beständigen Markern wie zum Beispiel Sporen und Pollen die Umweltbedingungen zu ihren jeweiligen Wachstumszeiten. Die vertikale Abfolge der Diatomeenassoziationen spiegelt wiederum die Entwicklung dieser Umweltbedingungen des Gewässers wider. Die zeitliche Zuordnung erfolgt über ¹⁴C-Datierung. Zusätzliche palynologische Analysen ermöglichen Aussagen zur Vegetations- und Klimaentwicklung sowie zum Siedlungsgeschehen des näheren Gewässerumfeldes. Ziel solcher Untersuchungen ist zum Beispiel die Ermittlung der natürlichen Trophie eines Gewässers als Grundlage für Leitbilddiskussionen bei Sanierungsmaßnahmen. Im allgemeinen reicht hierfür eine grobe Auflösung für die tendentielle Entwicklung. Zusätzliche Informationen bieten jedoch absolute Zeitmarker (Mineralspuren konkreter Vulkanausbrüche: zum Beispiel 'Laacher Bimstuf', Eifel 9080 v. Chr.). In Verbindung mit durchgängigen oder phasenweisen saisonalen Warvenbildungen bei der Sedimentation infolge von Kalzit-ausfällungen ist eine hohe zeitliche Auflösung konkreter Zeitabschnitte möglich. Diese gewarnten Sedimente zeigen das saisonale Sedimentationsgeschehen als quasi 'Jahresring-Bildung'. Mit Hilfe von Ultradünnschliffen ist sogar die Auflösung einzelner Saisonabschnitte anhand typischer planktischer Taxa gelungen (Hall *et al.* 1997). Diese hohe Auflösung ist zur Rekonstruktion konkreter Zeiträume vor allem aus der jüngeren Vergangenheit sehr hilfreich. Alefs *et al.* (1996) dokumentieren über derartige Warvenchronologien im Nachhinein nicht nur die Wirkung von Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Ammersees, sondern auch dessen Eutrophierungsbeginn. Dies ist für das Verständnis von Eutrophierungsprozessen wichtig, denn meist setzen kontinuierliche Überwachungen von Gewässern erst ein, wenn die Folgen einer schleichenden Eutrophierung offensichtlich, und nicht mehr leicht korrigierbar sind.

Die Rekonstruktion von Paläoumweltdaten wird durch Anwendung sogenannter Transferfunktionen (Abb. 3) möglich. Hierzu werden aus einem rezenten Eich - oder Referenzdatensatz die Verbreitungsoptima und Varianzen der Taxa bezüglich des betrachteten Steuerfaktors der Gewässer eines konkreten Gebietes errechnet. Eine Nutzung dieser durch Häufigkeit und Indikationsgewicht bewerteten Optima der Taxa auf fossile Diatomeen-Vergesellschaftungen ermöglicht die Abschätzung des betreffenden Faktors für den betrachteten Sedimenthorizont. Die vertikale Abfolge widerspiegelt die zeitliche Entwicklung des Faktors in dem Gewässer.

Vom Grundsatz her ist immer die engste Abhängigkeit zwischen Organismenbesiedlung und dem jeweils dominanten Steuerfaktor zu erwarten. Wir konzentrieren uns auf die Erarbeitung einer Diatomeen - Gesamtphosphor Beziehung als beschreibenden Faktor der Trophieentwicklung karbonatreicher Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern.

Diese Diatomeen - Trophie (bzw. Diatomeen - Phosphat) Beziehung ist die häufigste Indikationsanwendung mittels Diatomeen (Tab. 1). Der mathematische Grundansatz folgt allgemein ter Braak & van Dam (1989).

Tabelle 1 Auswahl wichtiger Eichdatensätze für Diatomeen-Gesamtposphat Beziehungen

Autor	Eichdatensatz	Gesamtposphat µg/l
Wunsam & Schmidt (1994)	86 Seen im Alpen- und Voralpengebiet	2 - 266
Hofmann (1994)	25 Gewässerabschnitte im Alpenvorland	6 - 64
Bennion (1994)	31 Flachseen, England	25 - 646
Bennion <i>et al.</i> (1996)	147 Hartwasser Flachseen, Westeuropa	(5)40-1190
Schönfelder (1997)	46 karbonatreiche Gewässerabschnitte Brandbg.	16 - 261
Dixit <i>et al.</i> (1999)	238 Gewässer NO-USA	0 - 8740

Die Arbeiten von Bennion und Dixit zeigen, daß es eine signifikante Diatomeen - TP Beziehung auch oberhalb von P - Limitationen in Flachgewässern gibt. Die r^2 -Werte beim Vergleich von berechneten und realen TP - Konzentrationen nach Anwendung auf unabhängige Gewässer lagen in den zitierten Arbeiten zwischen 0,7 und 0,8.

Methodik

Im Rahmen des Seenprojektes Mecklenburg - Vorpommern (1995-1997) untersuchten wir die Diatomeenassoziationen von bisher 48 Seen zwischen Rostock und der Müritz (Abb. 1). Abb. 2 zeigt die Streuung der TP - Werte dieser Eichgewässer. Es wurden sowohl Aufwuchsgemeinschaften verschiedenster Substrate als auch Präsediment - Assoziationen untersucht. Letztere wurden aus den oberen ca. 5 mm einer Stechrohrprobe im Bereich der größten Seetiefe entnommen. Im Falle der Präsedimente wurde bei geschichteten Seen die TP - Konzentration zum Zeitpunkt der Frühjahrsvollzirkulation, für ungeschichtete Seen der Jahresmittelwert aus vier Einzelmessungen in die Berechnung einbezogen. Für die Aufwuchsgemeinschaften ging der jeweilige TP - Wert der Probenahme in die Berechnungen ein.

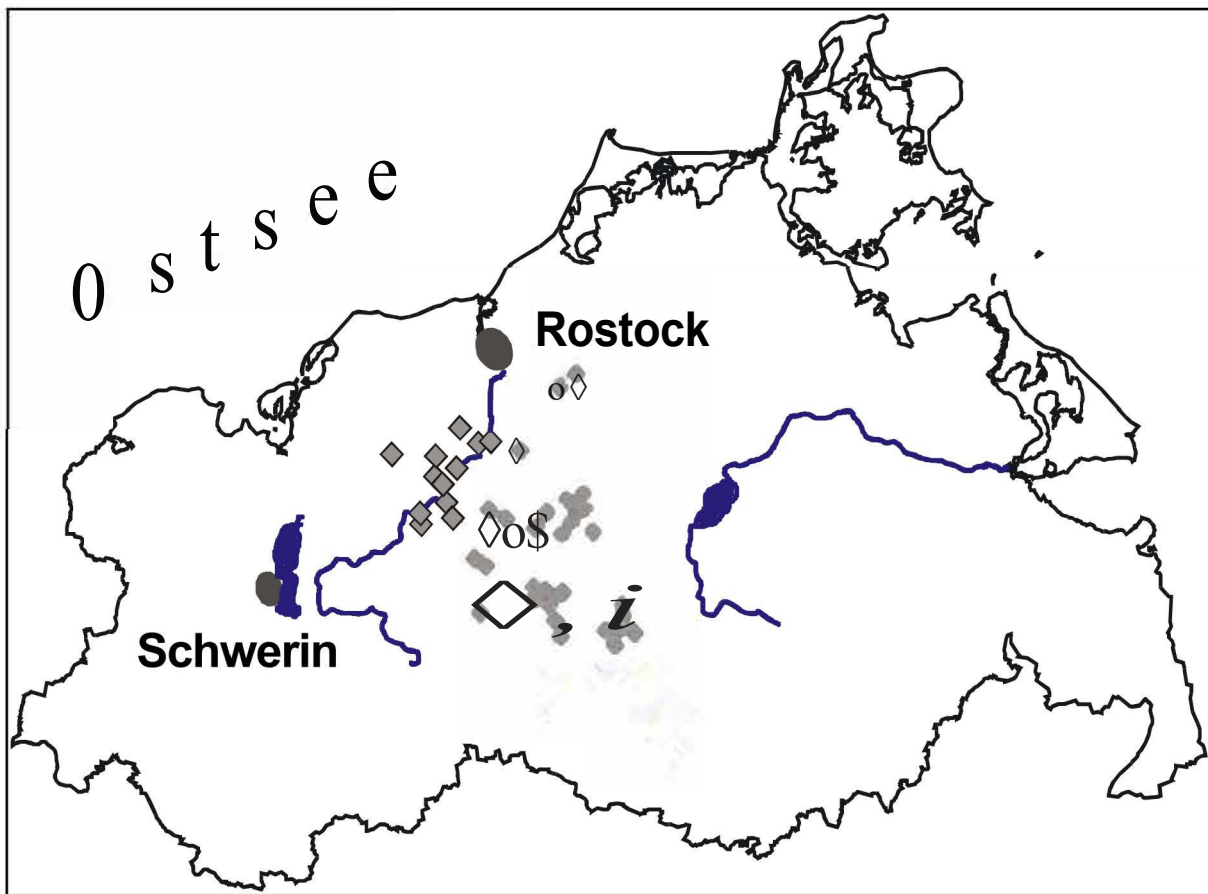


Abb. 1 Untersuchte Referenzgewässer in Mecklenburg - Vorpommern

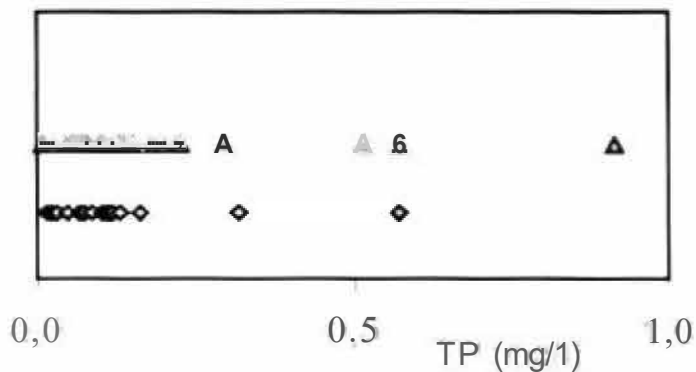


Abb. 2 Gesamtphosphatkonzentrationen in den mecklenburgischen Referenzgewässern (oben: Präsediment.- , unten: Bewuchsdiatomeen - Eichdatensatz)

Die Aufarbeitung und Präparation der Diatomeen erfolgte nach Krammer & Lange-Bertalot (1986). In allen Dauerpräparaten (Naphrax - Einschluß) wurden jeweils ca. 500 Schalen gezählt und der prozentuale Anteil eines jeden Taxons ermittelt. Die Verrechnung aller Vorkommen im Trainingsdatensatz mit den entsprechenden TP - Werten nach Wichtung mit der relativen Häufigkeit ergibt das TP - Optimum eines Taxons für die Bedingungen des Eichdatensatzes (Schönfelder

1997). Die Aussagekraft eines Bioindikators ist um so größer, desto enger die Toleranzbreite (Varianz) des Optimums ist. Aus diesem Grunde wird ein der Varianz inverses Maß als Indikationsgewicht in den Berechnungen mitgeführt. Hofmann (1994) verwendet hierzu ganzzahlige Werte zwischen 0 und 3, die sich umgekehrt proportional zur Anzahl der besiedelten Trophiestufen verhalten. Verschiedene Autoren geben die Standardabweichung als Streuungsmaß an, in diesem Fall die der dominanzgewichteten $\ln TP$ - Optima (= Indikationsgewicht (IG) oder 'Stenökiefaktor', SF, Schönfelder 1997).

Aus den errechneten TP-Optima der Taxa, gewichtet mit den Stenökiefaktoren sowie den Dominanzwerten der Taxa läßt sich ein Indexwert für jede Probe ermitteln.

Wir bezeichnen diesen wegen der Datengrundlage des Eichdatensatzes als Trophieindex Mecklenburg (Index Me). Die Korrelation der Indexwerte sowie der zugehörigen TP-Konzentrationen des Eichdatensatzes ergibt die Transferfunktion. Diese erlaubt nun die Ermittlung der TP-Konzentration unter welcher eine Diatomeengemeinschaft sich wahrscheinlich entwickelte. Diese Indikation kann sowohl rezente Gemeinschaften als auch fossile Sedimentablagerungen betreffen (Abb. 3).

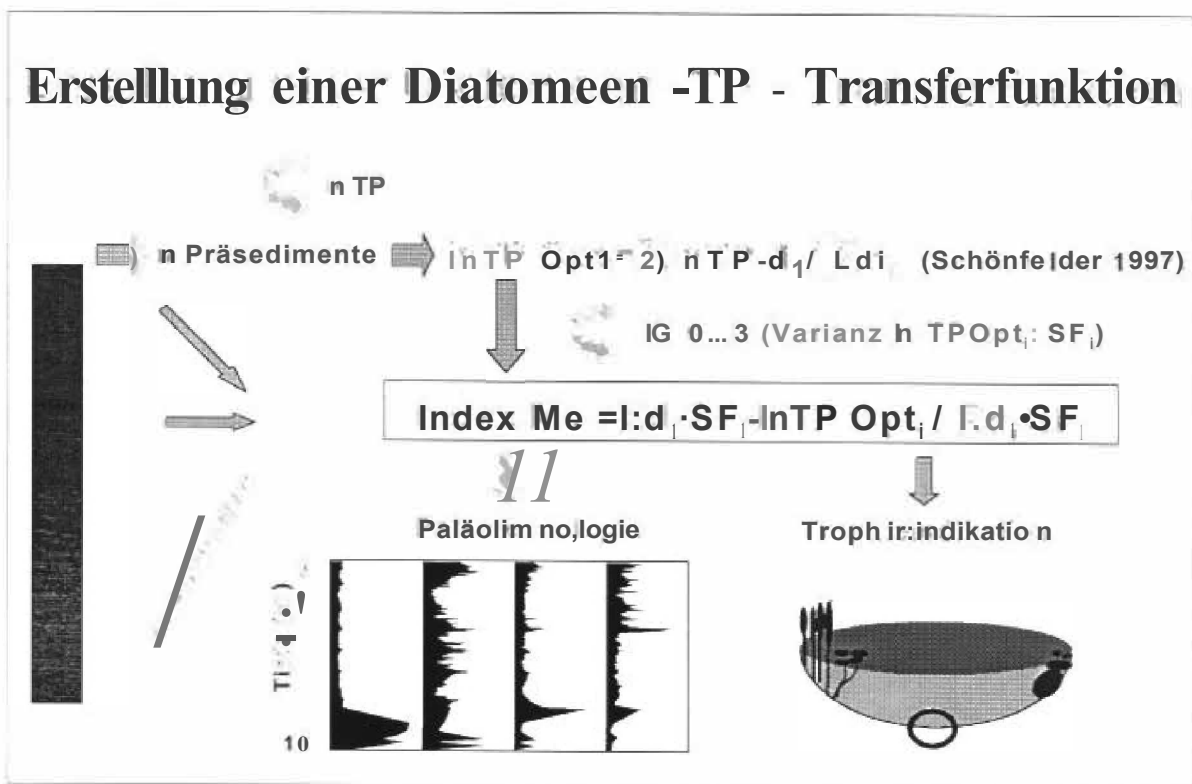


Abb. 3 Methodische Schritte zur Erstellung einer Diatomeen - Gesamtphosphat-Transferfunktion sowie deren Anwendung

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Durchsicht verschiedener Zusammenstellungen der Trophie-Indikationsnutzung von Kieselalgen ergibt sich zunächst der Eindruck relativ hoher Stenökie (Hofmann 1994, Schmedtje *et al.* 1998) mit Anteilen von 50 bzw. 40 % hochindikativer Taxa (IG=3) am Gesamtartenbestand sowie 35 % Anteil an den indikatorischen Arten (Schönfelder 1997). Für Taxa guter Indikation (IG=2) geben diese Autoren Anteile von 22, 26 bzw. 33 % an.

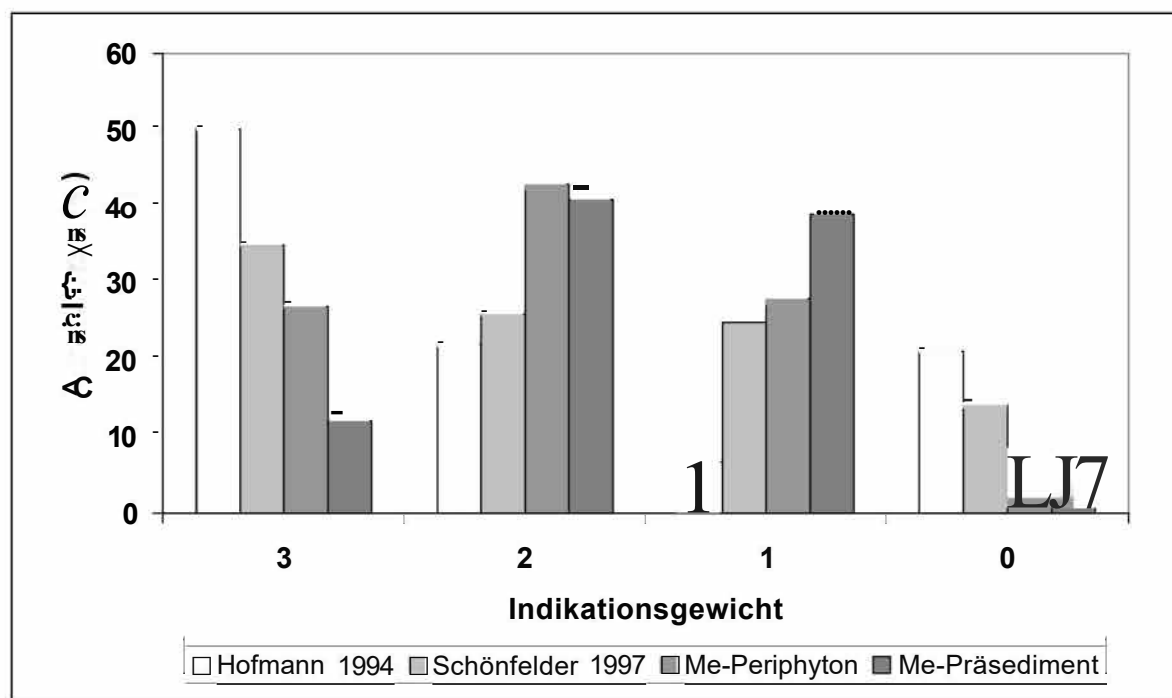


Abb. 4 Diatomeen-TP Beziehungen: Anteil der Taxa unterschiedlicher Indikationsgewichte verschiedener Eichdatensätze.

In den Proben der Referenzdatensätze wurden insgesamt 430 Diatomeen - Taxa ermittelt. Bisher wurden getrennte Datensätze verwendet, einen, basierend auf Präsedimentproben, den anderen auf Basis von Periphyton-Gemeinschaften. Grund für diese bisherige Differenzierung sind auffällige Unterschiede in der Lage der berechneten Optima und Varianzen für die Mehrzahl der betrachteten Taxa, wodurch die Lage der Transferfunktion für den Präsedimentdatensatz deutlich höhere TP - Optima aufweist als die Periphyton-Transferfunktion (Abb. 5). Für die Nutzung als Indikatoren galten als Randbedingungen: Im Periphyton-Datensatz, der Beziehungen zum aktuellen TP - Wert verrechnet, werden Taxa genutzt, die in wenigstens 4 unabhängigen Proben mindestens die Häufigkeit von 1 % erreichen. Hiermit soll die Überbewertung alter Schalen verhindert werden. Bei den als integrierende Probeaufnahme aufgefaßten Präsedimenten wurde als Häufigkeitsschranke 0,2 % in mindestens 3 unabhängigen Proben festgelegt. Auf diese Weise konnte bisher 100 Taxa

ein Indikationsgewicht zugeordnet werden (IG bzw. Stenökiefaktor 0, 1...3, Abb. 4). Bei einer durchschnittlicher Artenzahl von 30-40 je Probe gingen ca. 10-15 Taxa als Indikatoren in die Berechnung des Trophieindex ein.

Die Transferfunktion auf Basis der Periphyton-Gesellschaften ist auf den Gültigkeitsbereich von 11 ... 160 µg TP/l beschränkt (Abb. 5), sie ist somit für karbonatreiche oligo- bis eutrophe Gewässer des Norddeutschen Tieflandes anwendbar.

Für die Transferfunktion des Präsediment-Eichdatensatzes ist der Geltungsbereich durch ausreichende Datendichte bis in die polytrophe Stufe möglich (Abb. 5).

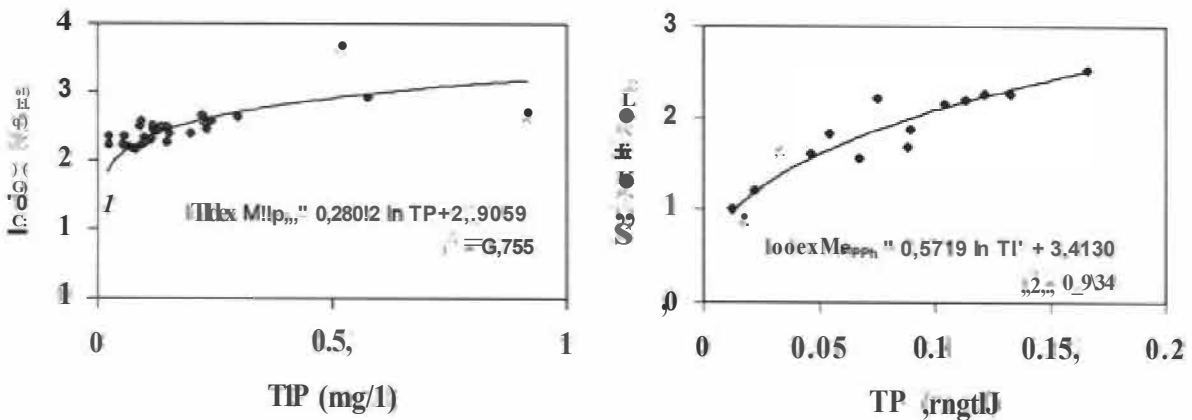


Abb. 5 Beziehung zwischen dem Trophieindex Mecklenburg und der Gesamtposphat-Konzentration der Eichdatensätze (Präsedimente: PS, Periphyton: PPh)

Die Lage der beiden Transferfunktionen ist um ca. 0,5 Trophieeinheiten verschoben (Abb. 5). Die Funde im Präsediment sind dabei zumeist mit einer geringeren Indikationsgewichtung verbunden. Der Umstand, warum periphytische Taxa geringere TP-Werte indizieren, ist nicht gänzlich klar. Die in Tab. 1 aufgeführten Eichdatensätze sind überwiegend reine Präsediment-Datensätze aus den jeweils tiefsten Seebereichen (Wunsam & Schmidt 1994, Bennion 1994, Bennion *et al.* 1996, Dixit *et al.* 1999, Campeau *et al.* 1999), dies ermöglicht den besten Vergleich mit den Sedimenthorizonten der paläolimnologischen Arbeiten. Hervorgehoben wird der integrierende Charakter einer solchen Probe, die das Ergebnis einer kompletten saisonalen Sedimentation erfasst. Nach Hall & Smol (1999) sind planktische Diatomeen, d.h. die Mehrzahl der Arten der Präsedimentassoziation, bessere Indikatoren als periphytische Taxa, welche vor allem in oligotrophen Seen am zumeist nicht nährstofflimitierten Substrat die oligotrophen Bedingungen des Freiwassers gar nicht indizieren können.

Daneben gibt es jedoch auch Datensätze aus ausschließlichen Aufwuchsgesellschaften (Hofmann 1994, Schönfelder 1997). Hofmann (1994) und Lange-Bertalot & Metzeltin (1996) unterstreichen die stenöke Verbreitung vieler Taxa gerade unter oligotrophen Bedingungen. Eine Mischung und Vergleich der Datengrundlage aus denselben Gewässern liegt bisher nicht vor. Die von uns ermittelten TP -

Optima der Aufwuchsanalysen stimmen am besten mit denen anderer Aufwuchsdatensätze (Hofmann 1994, Schönfelder 1997) überein.

Gegenstand weiterer Untersuchungen ist die sukzessive, gezielte Erweiterung der Eichgewässer-Datensätze.

Zusammenfassung

Es wird ein Überblick über Gewässer - Bioindikationsnutzung mit Diatomeen gegeben. Die klassische Saprobieindikation ist weitgehend durch trophische Indikationssysteme für Seen und Fließgewässer abgelöst worden. Es wird am Beispiel von Untersuchungen von Periphyton- und Präsediment-Diatomeenvergesellschaftungen in mecklenburgischen Referenzgewässern (TP: 11 ... 927 µg/l) die Erstellung einer Diatomeen-Gesamtphosphat Transferfunktion erläutert. Diese Transferfunktion ermöglicht die Trophieindikation im Bereich meso- bis hypertropher karbonatreicher Seen in Mecklenburg-Vorpommern. Hauptanwendungsgebiet dieser Transferfunktionen jedoch ist die Rekonstruktion paläolimnischer Trophieentwicklungen bzw. die Ermittlung der natürlichen Trophie konkreter Gewässer als Grundlage für Leitbilddiskussionen bei Sanierungsmaßnahmen.

Literatur

- ALEFS, J.; MÜLLER, J. & WUNSAM, S. (1996). Die Rekonstruktion der epilimnischen Phosphorkonzentrationen im Ammersee seit 1958. *gwf Wasser - Abwasser* 137: 443-447.
- BENNION, H. (1994). A diatom-phosphorus transfer function for shallow, eutrophic ponds in Southeast England. *Hydrobiologia* 275/276: 391-410.
- BENNION, H.; DUGAN, C.A.; HAWORTH, E.Y.; ALLOTT, T.E.H.; ANDERSON, N.J.; JUGGINS, S. & MONTTLEITH, D.T. (1996). The Anglesey lakes, Wales, UK - changes in trophic status of three standing waters as inferred from diatom transfer function and their implications for conservation. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater* 6: 81-92.
- CAMPEAU, S.; PIENITZ, R. & HEQUETTE, A. (1999). Diatoms from the Beaufort Sea coast, southern Arctic Ocean (Canada). *Bibliotheca Diatomologica* Bd. 42, J. Cramer.
- DIXIT, S.S.; SMOL, J.P.; CHARLES, D.F.; HUGHES, R.M.; PAULSEN, S.G. & COLLINS, G.B. (1999). Assessing water quality changes in the lakes of the northeastern United States using sediment diatoms. *Can.-J.-Fish.-Aquat.-Sci.-J.-Can.-Sci.-Halieut.-Aquat.* 56/1: 131-152.
- HALL, R.I.; LEAVITT, P.R.; SMOL, J.P. & ZIRNHILT, N. (1997). Comparison of diatoms, fossil pigments and historical records as measures of lake eutrophication *Freshwat.-Biol.* 38/2: 401-417.
- HALL, R.I. & SMOL, J.P. (1999). Diatoms as indicators of lake eutrophication. In: STOERMER, E.F. & SMOL, J.P. (eds.): *Applications of the environmental and earth sciences.* 128-168, Cambridge Univ. Press.
- HOFMANN, G. (1994). Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica* 30, J. Cramer, Berlin.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1908). Ökologie der pflanzlichen Saprobien. *Ber. Dt. Bot. Gesellschaft.* 26.
- KOLKWITZ, R. & MARSSON, M. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph.* 2.
- LANGE-BERTALOT, H. & METZELTIN, D. (1996). Indicators of Oligotrophy. *Iconographia Diatomologica* 2, Koelz Scientific Books.
- ROTT, E.; HOFMANN, G.; PALL, M.K.; PFISTER, P. & PIPP, E. (1997). Indikationslisten für Aufwuchsalgen. T.1: Saprobien Indikation. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaftskartaster: 1-73.

- SCHMEDTJE, U.; GUTOWSKI, A.; LEUKART, P.; MELZER, A.; MOLLENHAUER, D.; SCHNEIDER, S. & TREMP, H. (1998). Trophiekartierung von aufwuchs- und makrophytendominierten Fließgewässern. Informationsberichte Bayerisches LA für Wasserw. 4: 1-501.
- SCHÖNFELDER, I. (1997). Eine Phosphor-Diatomeen-Relation für alkalische Seen und Flüsse Brandenburgs und ihre Anwendung für die paläolimnologische Analyse von Auensedimenten der unteren Havel. Dissertations Botanicae 283, J. Cramer, Berlin.
- SLADECEK, V. (1973). System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol./Ergebn. Limnol. 7: 1-218.
- TER BRAAK, C.J.F. & VAN DAM, H. (1989). Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. Hydrobiologia 178: 209-223.
- WUNSAM, S & SCHMIDT, R. (1994). A diatom-phosphorus transfer function for alpine and prealpine lakes. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 53: 85-99.

Verfasser

Dr. Thomas Hübener, Sven Adler
Universität Rostock, Institut für Biodiversitätsforschung,
Allgemeine & Spezielle Botanik
Wismarsche Str. 8
D-18051 Rostock
e-mail: thomas.huebener@biologie.uni-rostock.de

Dr. Uwe Selig
Universität Rostock, Institut für Aquatische Ökologie,
Angewandte Ökologie
Freiligrathstr. 7/8
D-18051 Rostock
e-mail: uwe.selig@biologie.uni-rostock.de

