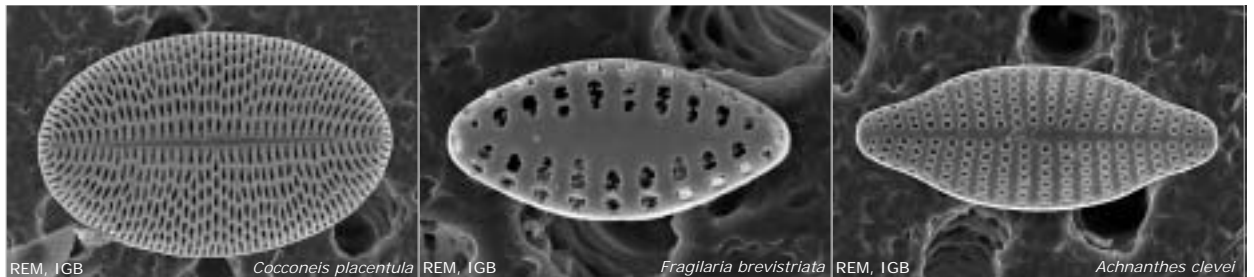


VERBUNDPROJEKT

Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel

im Rahmen des BMBF-Förderprogramms "Forschung für die Umwelt" zum Thema

"Flusseinzugsgebietsmanagement"



Teilprojekt 1

"Paläolimnologische Leitbildkonstruktion und biozönotisch basierte Bewertungsansätze für Flusseen am Beispiel der Diatomeen "

Kurzfassung des Abschlussberichts

Bearbeiterin:
Dr. Ilka Schönfelder
Landesumweltamt Brandenburg
Referat Ö3 – Umweltüberwachung und Ökotoxikologie
Berliner Str. 21-25
14467 Potsdam

Potsdam, den 30.11.2004

Inhalt

1	Fragestellung.....	3
2	Wissenschaftliche Teilziele	4
3	Forschungsansatz/Methodik	5
4	Ergebnisse	6
5	Schlussfolgerungen	17
6	Referenzen.....	19

1 Fragestellung

Ein Ziel der Richtlinie 2000/60/EG (EUROPEAN UNION, 2000; EG-Wasserrahmenrichtlinie, WRRL) ist es, keine Verschlechterung des Zustands der Gewässer zuzulassen und in den aktuell noch belasteten Gewässern bis zum Jahr 2015 einen guten Zustand zu erreichen. Dazu gehören ein guter chemischer Zustand, der durch die Konzentrationen bestimmter Schadstoffe im Wasser definiert wird, und ein guter ökologischer Zustand. Letzterer wird über Merkmale der Besiedlung mit Pflanzen und Tieren definiert, die von allgemeinen physikalischen, chemischen, hydrologischen und ökomorphologischen Merkmalen abhängen. Im guten Zustand dürfen die abiotischen Umweltvariablen nur geringfügig von anthropogen ungestörten Bedingungen abweichen, um das Funktionieren der Ökosysteme in ihrer Typspezifik sicher zu stellen.

Für die Bewertung des ökologischen Zustands der Gewässer werden biozönotisch basierte Verfahren benötigt. Zusammensetzung und Abundanz des Phytoplanktons, der benthischen Flora (Makrophyten und Mikrophytobenthos), der benthischen wirbellosen Tiere und der Fische eines Gewässers werden als Qualitätskomponenten des ökologischen Zustands mit der Ausprägung in ungestörten Referenzgewässern verglichen und künftig in fünf Stufen bewertet. Der ökologische **Referenzzustand** der einzelnen Gewässertypen dient dabei als Anschlagpunkt für die Messlatte der künftigen Gewässerbewertung. Die Festlegung des Referenzzustands entscheidet deshalb mit über den Umfang künftiger Sanierungsmaßnahmen. Nur auf menschliche Einwirkungen zurückzuführende Störungen der aquatischen Biozöosen sind Gegenstand der Gewässerbewertung gemäß WRRL. Der Beschreibung der natürlichen Variabilität der typspezifischen Referenzzustände ist daher besonderes Augenmerk zu widmen, um künftig die Messlatte der Bewertungsverfahren nicht höher, aber auch nicht tiefer zu hängen, als es den naturräumlichen Voraussetzungen des Gewässertyps entspricht.

Die biozönotisch basierten **Bewertungsverfahren** müssen eine zuverlässige und sichere Einstufung des ökologischen Zustands jedes Gewässertyps in die fünf Qualitätsstufen "sehr gut", "gut", "mäßig", "ungenügend" und "schlecht" ermöglichen. Sie sind daher für jeden Gewässertyp und jede der oben genannten Qualitätskomponenten, sofern sie auf anthropogene Störungen reagiert, zu entwickeln. Die Grenzwerte zwischen dem guten und dem mäßigen Zustand sind für die genannten Indikatorgruppen auf solider Datengrundlage mit wissenschaftlichen Methoden festzulegen. Fehleinstufungen, z.B. ökologisch nur geringfügig gestörter Gewässer (Qualitätsstufe "gut") als "mäßig" wären fatal, weil sie kostenintensive Maßnahmenprogramme erforderlich machen würden. Die Bewertungsskalen für im Längskontinuum des Gewässernetzes aufeinander folgende Fließgewässer- und Seentypen sind deshalb in ökologisch begründeter und wasserwirtschaftlich sinnvoller Weise aufeinander abzustimmen.

Für stark durchflossene Seen des Norddeutschen Tieflands gibt es derzeit noch Lücken im System der biozönotisch begründeten Bewertungsverfahren des ökologischen Zustands. Mit der Entwicklung von Bausteinen für solche biologisch basierten Bewertungsverfahren

soll deshalb ein Beitrag für ein effizientes Gewässermonitoring durchflossener Seentypen im Haveleinzugsgebiet geleitet werden.

Die Mehrzahl der Seen mit größeren Einzugsgebieten ist heute m.o.w. stark eutrophiert. Das betrifft insbesondere die Seen im Mittellauf der Havel, die seit Jahrhunderten von den Abwässern der Metropolen Potsdam und Berlin, aber auch von diffusen Belastungen aus dem Einzugsgebiet beeinflusst werden. Die Referenzzustände für solche stark durchflossenen Seen sind bislang nur ungenau bekannt. Die hier vorgelegten Rekonstruktionen der potenziell natürlichen Nährstoffkonzentrationen der Seen verschiedenster hydrologischer und morphologischer Typen im Haveleinzugsgebiet sollen deshalb dazu beitragen, naturraumadäquate Sanierungsziele im Rahmen der Umsetzung der EU-WRRL zu entwickeln. Am Beispiel der Kieselalgen (Diatomeen) wurde versucht, Maßzahlen für eine Bewertung des bewirtschaftungsrelevanten Teilaspekts Trophie für stark durchflossene Seen der Ökoregion Zentrales Flachland zu entwickeln und Grenzwerte für die fünf Qualitätsstufen abzuleiten.

2 Wissenschaftliche Teilziele

Die Typologie der Fließgewässer im Norddeutschen Tiefland stützt sich im Wesentlichen auf Längszonen, Merkmale des Substrats und des Makrozoobenthos (z.B. SCHMEDITJE et al. 2001). Für die Seen werden maßgeblich Merkmale herangezogen, welche die potenziell natürliche Trophie steuern, wie das Schichtungsverhalten und der Volumenquotient (Verhältnis zwischen Einzugsgebietsgröße und Seevolumen), der mit der Verweilzeit korreliert ist (MATHES et al. 2002). Für den Volumenquotienten wurde ein provisorischer Grenzwert von $1,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ eingeführt und trennt die potenziell natürlich nährstoffreicheren (stark meso- und eutrophen) Seen des Tieflands (Typen 10, 11 und 12 mit $VQ > 1,5$) von den potenziell natürlich nährstoffärmeren (oligotrophen und schwach mesotrophen) Seen des Tieflands (Typen 13 und 14 mit $VQ < 1,5$).

Entsprechend der o.g. Zielstellung wurden zwei Themenkomplexe formuliert. Zum Einen sollten die ungestörten **ökologischen Referenzbedingungen der Havel und ausgewählter durchflossener Seen** verschiedener Typen (im Sinne von MATHES et al. 2002) hinsichtlich bewirtschaftungsrelevanter Parameter der Wasserbeschaffenheit beschrieben werden. Von zentralem Interesse für das Verbundvorhaben waren hierbei quantitative Aussagen zu den eutrophierungswirksamen Nährstoffen Phosphor (P) und Stickstoff (N). Die ungestörten Bedingungen in Seen $> 50 \text{ ha}$ mit Verweilzeiten < 30 Tagen (Typ 12 nach MATHES et al. 2002) sollten beschrieben werden, um das Ausmaß der Veränderung durch Rodungen, Erosion der Ackerflächen, Siedlungsabwässer und Kunstdüngereinsatz für den Zeitraum der vergangenen ca. 4.000 Jahre zu erkennen und bewerten zu können.

Den zweiten Themenkomplex des Teilprojektes 1 bildeten Arbeiten zur **Weiterentwicklung von Modulen zur Bewertung des ökologischen Zustands durchflossener Seen, insbesondere des Moduls Trophie**, im Sinne der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). Im Mittelpunkt stand hierbei die Frage, ob sich

Kieselalgen (Diatomeen) auch eignen, um ökologische Wirkungen anthropogen bedingter Polytrophy in natürlich nährstoffreichen Seentypen des Zentralen Flachlandes in fünf Qualitätsstufen abzubilden. Untersucht wurden speziell die LAWA-Seentypen 10, 11 und 12 nach MATHES et al. (2002).

Der von MATHES et al. (2002) vorgeschlagene Grenzwert des Volumenquotienten von $1,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$ war seinerzeit empirisch anhand rezenter Daten aus eher gering belasteten Seen abgeleitet worden, um nährstoffarme und nährstoffreiche Seentypen zu trennen. Wäre es denn aber nicht vielleicht doch möglich, dass einige besonders tiefe, sommerlich geschichtete Seen trotz eines großen Einzugsgebiets (Volumenquotient $> 15 \text{ m}^2/\text{m}^3$), wie sie z.B. im Einzugsgebiet der Oberen Havel bis heute vorkommen, natürlicherweise nährstoffarm (mesotroph oder sogar oligotroph) gewesen waren? Zur Klärung dieser Frage wurden mittels Verfahren der Retrospektive auch Zeiten mit unbedeutendem menschlichen Einfluss (vor der Bronzezeit, während der Völkerwanderungszeit) berücksichtigt, um vor dem Hintergrund der künftig aufzustellenden Bewirtschaftungspläne die Referenzzustände der Seen möglichst auch für das Haveleinzugsgebiet regional zutreffend zu definieren.

3 Forschungsansatz/Methodik

Zur Beschreibung des anthropogen ungestörten Zustandes vieler Gewässertypen in der Region Berlin-Brandenburg ist eine Orientierung am aktuellen Gewässerzustand nicht möglich. Jahrzehntelang erhöhte Nährstoffeinträge als Folge menschlicher Tätigkeiten führten in den meisten Seen im Einzugsgebiet der Havel zu ökologischen Zuständen, die vermutlich auch nach den ersten eingetretenen Sanierungserfolgen gegenwärtig noch stärker als nur geringfügig von ungestörten Verhältnissen abweichen.

Deshalb wurde zur Beschreibung der Referenzzustände durchflossener Seen im Haveleinzugsgebiet die Methode der Retrospektive gewählt. Mit der paläolimnologischen Analyse von Sedimentbohrkernen sollte die Geschichte repräsentativer, typischer Seen des Haveleinzugsgebiets in den letzten acht bis elf Jahrtausenden rekonstruiert werden. Die ausgewählten Seen durchlebten im Verlauf ihrer ca. 14.000 Jahre alten Verlandungsgeschichte unterschiedlichste Typen nach der Typologie von MATHES et al. (2002): Wittwensee bei Rheinsberg - Typ 13; Stolpsee bei Himmelpfort - Typ 10, Blankensee östlich Beelitz - Sukzessionsabfolge von Typ 10, 11 und 12; Breitlingsee bei Brandenburg an der Havel - Sukzessionsabfolge Typ 10 und 12. Die 18 – 21 m langen Sedimentkerne wurden im Jahr 2002 durch das Geoforschungszentrum Potsdam erbohrt. Zusätzlich konnte im Vorhaben ein 2,5 m langer Gefrierkern aus dem Blankensee untersucht werden, der in einem Vorgängerprojekt der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus im Auftrag des MLUR Brandenburg erbohrt worden war.

Die Diatomeenreste ausgewählter Schichten wurden qualitativ und quantitativ analysiert. Regional kalibrierte quantitative Diatomeen-Umwelt-Transferfunktionen (SCHÖNFELDER et al. 2002) wurden auf diese Daten angewandt, um die Ganglinien wichtiger Parameter der Wasserbeschaffenheit für die untersuchten vier Seen im Zeitraum der letzten ca. 10.000 Jahre abzuleiten.

4 Ergebnisse

Die Sedimentschichten enthielten Reste planktischer und benthischer Kieselalgen in hohen Abundanzen und überwiegend sehr gutem Erhaltungszustand. Mit der Anwendung regional kalibrierter quantitativer Diatomeen-Umwelt-Transferfunktionen (SCHÖNFELDER et al. 2002) gelang es, die Ganglinien wichtiger Parameter der Wasserbeschaffenheit für die untersuchten Seen im Zeitraum der letzten ca. 10.000 Jahre abzuleiten (Abb. 1-3).

Entwicklung des Wittwesees seit 7.300 BC

Oberirdisch von Natur aus zu- und abflusslos stand der Wittwesee mit den übrigen Gewässern des Haveleinzugsgebietes nicht in direkter Verbindung. Überraschend war deshalb, in älteren Sedimentschichten hohe Dominanzwerte von *Aulacoseira ambigua* nachzuweisen. Diese als nährstoffliebend bekannte Art mit Massentwicklungen in den polytrophen Havelseen kommt rezent in keinem ungestörten See des Typs 13 vor. Deshalb wurde davon Abstand genommen, die Referenzbedingungen des Seentyps 13 aus fossilen Proben des Wittwesees abzuleiten. Der aktuelle Zustand entspricht limnochemisch wie diatomologisch weitgehend dem anderer ungestörter Seen im Norden Brandenburgs, so dass für die Ableitung der Referenzbedingungen für den Seentyp 13 (Grundwassersee) auf den raumbezogenen Ansatz und vor allem auf andere Seen orientiert werden muss.

Entwicklung des Stolpsees seit 10.600 BC

Aus dem 22 Meter mächtigen Sediment des Stolpsees im Oberlauf der Havel wurden 21 Proben ausgewertet, in denen 268 Diatomeentaxa (Arten und Unterarten) nachgewiesen werden konnten, die sich auf 30.164 bestimmte Schalen verteilen. Für mehrere Arten mit TP-Optima $< 20 \mu\text{g/l}$, z.B. *Achnanthes trinodis* (W. Smith) Grunow, *Amphora thumensis* (A. Mayer) Cleve-Euler, *Cymbella angustata* (W. Smith) Cleve und *Diploneis subconstricta* (A. Cleve) Cleve-Euler, wurde ein Erlöschen ihrer Vorkommen an der Grenze Späteiszeit/Holozän nachgewiesen. Der floristische Wandel ist auf den Übergang von schwach mesotrophen zu stark mesotrophen, später auch schwach eutrophen Verhältnissen im frühen Holozän (lange vor der Einflussnahme des Menschen auf die Landschaften) zurückzuführen. Die TP-Konzentration stieg bei höchstens sehr geringem Einfluss des Menschen, ausgehend von $19 - 23 \mu\text{g/l}$ im Atlantikum über $20 - 27 \mu\text{g/l}$ im Subboreal (stark mesotroph) auf $30 - 36 \mu\text{g/l}$ im Subatlantikum (eutroph). Diese Entwicklung reflektiert den natürlichen Trend zunehmender Eutrophie als Folge der Verlandung der Seen im Einzugsgebiet und dadurch abnehmender Retentionsleistungen der vorgelagerten Seebecken. Als Folge rasant fortgesetzter Sukzession wäre heute für den Stolpsee eine natürliche TP-Konzentration von ca. $40 \mu\text{g/l}$ kennzeichnend. Diese wäre auch für die obere Havel unterhalb des Stolpsees anzunehmen, mit einer deutlich steigenden Tendenz (auf ca. $60 \mu\text{g/l}$) bis Hennigsdorf als Folge bedeutsamen Zuflusses aus dem Döllnfließ und dem Grundwasser.

Die für den Stolpsee rekonstruierte TN-Konzentration stieg im Zeitraum 9.000 – 1.000 Jahre vor heute von ca. $650 \mu\text{g/l}$ auf ca. $920 \mu\text{g/l}$. Die TN:TP-Relationen von $29 - 36$ liegen deutlich höher als zur gleichen Zeit im Breitlingsee. Einseitige

Stickstofflimitationen sind daher eher unwahrscheinlich gewesen. Vielmehr ging der Stolpsee bei mäßiger, aber harmonischer Phosphor- und Stickstofflimitation vom stark mesotrophen in einen schwach eutrophen Zustand über.

Die Chloridkonzentrationen von 26 – 31 mg/l kennzeichnen den geogenen Hintergrund. Hydrogenkarbonatkonzentrationen von 1,99 – 2,10 mmol/l kennzeichnen den durchflossenen Seentyp, der sich zwischen 7000 BC und 1000 AD hydrologisch nur nuanciert verändert hat.

Die Proben aus dem Zeitraum der letzten 1000 Jahre widerspiegeln eine zweifelsfrei anthropogen bedingte Polytrophyierung, unterbrochen von kurzen eutrophen Phasen (Abb. 1).

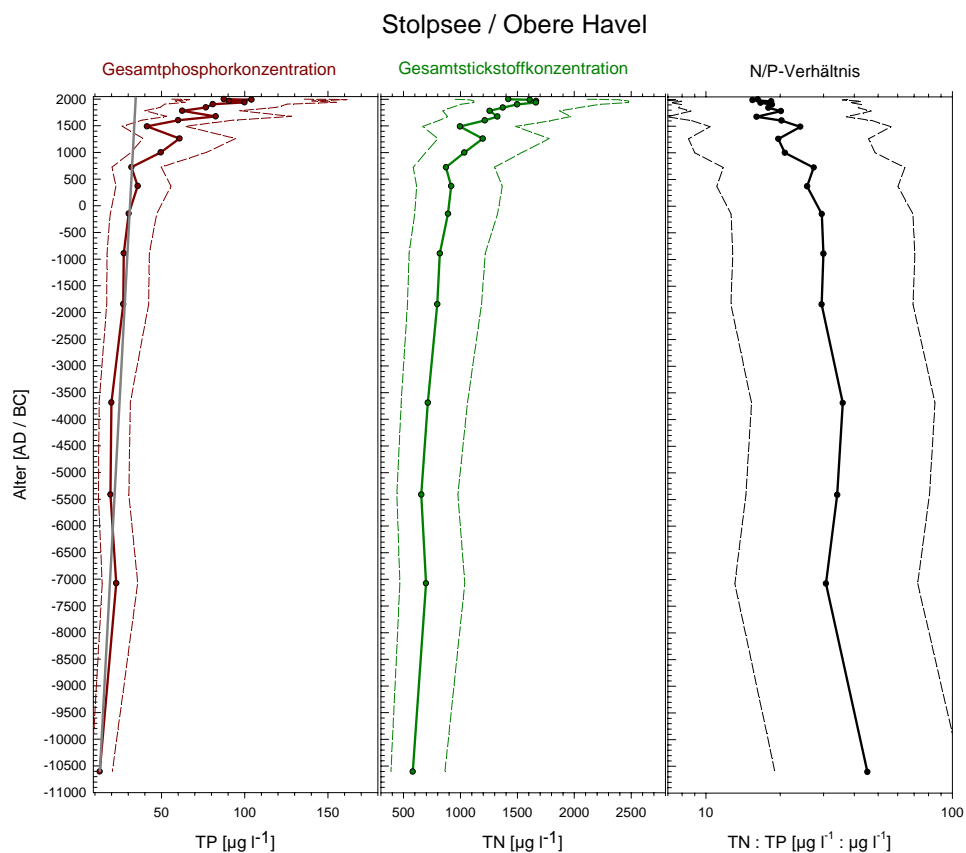


Abb. 1: Entwicklung der Nährstoffverhältnisse im Stolpsee für den Zeitraum der letzten ca. 12.500 Jahre.

Entwicklung des Blankensees in den letzten ca. 10.000 Jahren

Der Blankensee im Teileinzugsgebiet Nuthe (Nieplitz) hatte schon in den ältesten erfassten Schichten (Alter: 7.313 – 5.518 BC) bei einer maximalen Tiefe von 18 – 12 m (Typ 10) stark schwankende TP-Konzentrationen im Bereich 26 – 66 µg/l (Median 44 µg/l). Die rekonstruierten TN-Konzentrationen lagen zwischen 850 und 1550 µg/l. Daraus ergeben sich harmonische TN:TP-Relationen von 22 – 33. Der Trophiestatus war demzufolge

eutroph, ohne eventuelle einseitige P- oder N-Limitation. Mesotroph war der Blankensee schon im älteren Atlantikum nicht mehr, trotz seiner sommerlichen Schichtung.

Mit dem Übergang zur Polymixie (Typ 11) änderte sich das Nährstoffniveau bei weiterhin ausgeprägten Schwankungen. Die TP-Konzentrationen lagen im Bereich 44 – 82 µg/l (Median 60 – 64 µg/l). Die rekonstruierten TN-Konzentrationen lagen zwischen 1090 und 1750 µg/l. Daraus ergeben sich TN:TP-Relationen von 21 – 27. Der Trophiestatus war demzufolge hoch eutroph. In kurzen Stagnationsphasen im Sommer sind für diesen Zeitraum leichte Tendenzen einer Stickstofflimitation denkbar. Durch Stickstofflimitation theoretisch denkbare schwach eutrophe Tendenzen sind nicht ansatzweise erkennbar, mesotrophe Phasen sicher auszuschließen. Ab 4.745 BC wird die auch für die Havelseen bis heute kennzeichnende polytraphente Planktongemeinschaft aus *Aulacoseira granulata* und *A. ambigua* beherrschend (teilweise > 80% Dominanz). Insofern ist der ungeschichtete Blankensee schon im jüngeren Atlantikum als extrem planktontrübe zu charakterisieren und hatte ab 4.700 vor Christus in etwa die Beschaffenheit, die heute den Schwielowsee kennzeichnet.

Seit ca. 2.500 Jahren ist die Sedimentation im Blankensee stark reduziert. Um ca. 1200 AD hatte der Blankensee eine mittlere Tiefe von ca. 2 m erreicht. Die im sehr flachen See (Typ 12) in Massen produzierten Algen werden, durch Turbulenzen begünstigt, weitgehend zersetzt, wobei die enthaltenen Nährstoffe wieder vollständig freigesetzt werden. Der See erreichte, sicher begünstigt durch höhere Abflussspenden nach den Rodungen des Mittelalters und während der "Kleinen Eiszeit" zwischen 1588 und 1767 auffallend stabile TP-Konzentrationen von 54 – 58 µg/l. Bis über 90% der Diatomeen werden in diesem Zeitraum durch die benthischen Formen *Fragilaria construens f. construens* und *F. construens f. binodis* gestellt, die bei Sichttiefen um 1 m auf dem Sediment und auf Makrophyten wuchsen. Deshalb wird für den spätmittelalterlichen Blankensee von einem unvermittelt eingetretenen makrophytenreichen Zustand (z.B. mit *Potamogeton crispus*) ausgegangen. Ein solcher, hoch eutropher makrophytenreicher Zustand kann als Referenzzustand für Seen mit Wassertiefen < 2 m umrissen werden. Er kann, wie das Beispiel Blankensee zeigt, über Jahrhunderte hinweg stabil sein, ist allerdings empfindlich gegenüber Polytrophyierung.

Der deutliche biozönotische Wechsel vor ca. 800 Jahren war im Blankensee ganz sicher nur zum Teil durch das Überspringen der Verweilzeitgrenze von 30 Tagen eingetreten. Auslöser war sehr viel wahrscheinlicher das Erreichen einer mittleren Tiefe von ca. 2 m, wodurch der Gewässergrund zur Vegetationszeit in stärkeren Lichtgenuss kam.

Die Hypertrophierung des Blankensees bildet sich in den oberen 20 cm (seit 1889) mit Diatomeen nur undeutlich ab (Abb. 2). Die Grundtendenz des Blankensees bleibt eher hoch eutroph mit polytrophem Planktonaspekt. Die niedrigen Winterkonzentrationen zwischen Oktober und Juni (bei raschem Wasseraustausch im See durch die Nieplitz) sind für den aktuellen diatomeenökologischen Gesamtzustand im Blankensee bedeutsamer als die P-Rücklösungen im August und September.

Blankensee / Nieplitz (TEZG Nuthe)

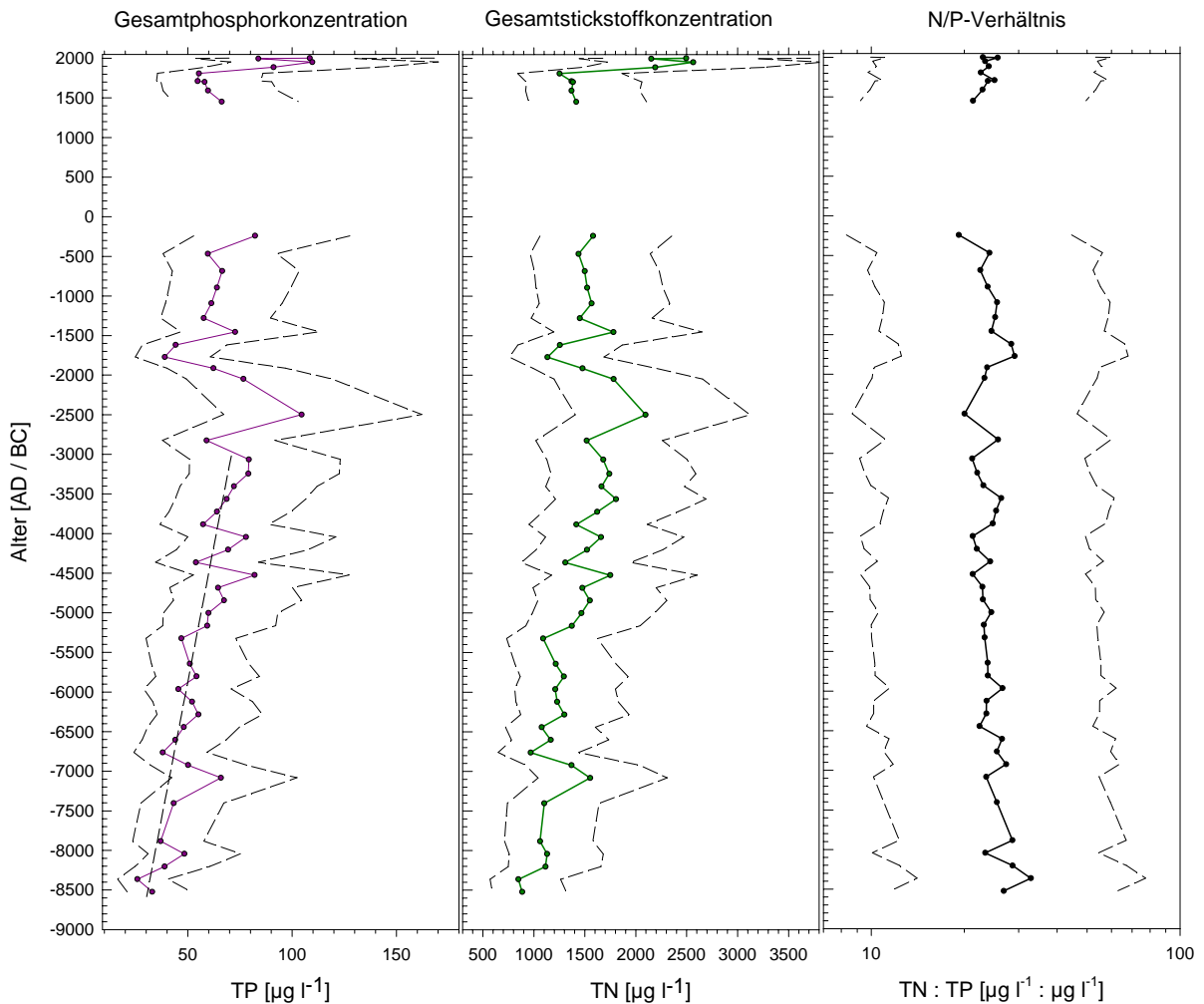


Abb. 4.2.3: Entwicklung der Nährstoffverhältnisse im Blankensee für den Zeitraum der letzten ca. 10.000 Jahre.

Entwicklung des Breitlingsees in den letzten 8.000 Jahren

Im Atlantikum und Subboreal (5.900 BC – 740 BC) war der Breitlingsee mit einer maximalen Tiefe von > 10 m im Sommer noch geschichtet (Typ 10). Die TP-Konzentration stieg allmählich von 34 auf 65 $\mu\text{g/l}$, lag also bereits eindeutig im eutrophen Bereich, wie zur gleichen Zeit im Blankensee. Dem entsprechen die rekonstruierten TN-Konzentrationen von 850 – 1380 $\mu\text{g/l}$ und die harmonischen, tendenziell im Jahrtausendemaßstab leicht sinkenden TN:TP-Relationen von 25 – 19. Mesotrophie ist im Breitlingsee und damit auch für die hindurchfließende untere Havel seit dem Beginn des Atlantikums sicher auszuschließen.

Ab 5.250 BC, also nur ca. 500 Jahre früher als im Blankensee, wird die bis heute für die Havelseen kennzeichnende nährstoffliebende Planktonart *Aulacoseira granulata*

beherrschend (um ca. 50% Dominanz in Bezug auf die gesamte Diatomeengemeinschaft). Der Referenzzustand des Breitlingsees ist seitdem als ausgesprochen sommerlich (bräunlich) planktontrübe zu charakterisieren. Phasenweise Anteile von > 20% *Cyclostephanos dubius* und *Stephanodiscus neoastraea* kennzeichnen die Situation als stabil eutroph bis hoch eutroph. Im Sommerhalbjahr gab es phasenweise Stickstofflimitation, die ein Umschlagen in den polytrophen Zustand verhindert haben kann. Durchgängig erreichten die Planktondiatomeen 64 – 72% der Gesamtdiatomeen, also für Brandenburger Seen durchschnittliche (normale) Werte.

Im Verlauf der letzten 2.500 Jahre füllte sich das Seebecken des Breitlingsees schnell mit 8 m mächtigen planktogenen Sedimenten. Mit Beginn des Subatlantikums (um 428 BC) hatte der Breitlingsee den Charakter eines polymiktischen Flusseees mit mittleren Verweilzeiten von < 30 Tagen angenommen. Die TP-Konzentrationen schwankten über den ungestörten Teil des Subatlantikums hinweg nur unbedeutend im Bereich 66 – 84 µg/l (Median 75 µg/l). Die rekonstruierten TN-Konzentrationen lagen zwischen 1470 und 1590 µg/l. Der Wert 1280 µg/l für die Schicht um 1750 AD (aus 82 cm Sedimenttiefe) spiegelt eine vorübergehende Phase benthischer Dominanz mit *Fragilaria* spp. wider, die für die Havelseen mit einer mittleren Tiefe > 2 m nicht typisch ist. Das zeitgleiche Minimum der Chloridkonzentration von 38 mg/l, ein Minimum des an DIC gebundenen Säurebindungsvermögens (2,0 mmol/l) und ein Peak des DOC/TP-Verhältnisses (80) deuten auf Folgen einer kalten und wasserüberschüssigen Klimaphase mit hohen Anteilen an oberflächennahen Abflusskomponenten (oder Meliorationseffekte?) hin. Parallelen finden sich in der Sequenz Breitlingsee nur in der Mitte des Atlantikums, typisch für die Havel sind sie jedenfalls nicht.

Aus den für das Subatlantikum rekonstruierten relativ niedrigen TN:TP-Relationen von 19 – 22 muss phasenweise mit Stickstofflimitation im Sommerhalbjahr gerechnet werden, die aber in Anbetracht des Nährstoffniveaus nur mit insgesamt hoch eutrophen Verhältnissen einherging. Schwach eutrophe oder gar mesotrophe Tendenzen sind für die Zeit 428 BC – 1900 AD auszuschließen.

Die Proben aus dem Zeitraum nach 1900 belegen bei allen wasserchemischen Parametern signifikante Einflüsse des Menschen (Abb. 3). In Anbetracht des vorher schon über Jahrtausende hinweg hoch eutrophen Zustands der Havelseen reagierte deren Diatomeenflora nur mit geringfügigen Abänderungen. Die sicher auffälligste Änderung ist die Einwanderung der planktischen *Actinocyclus normanii* um 1911 (JAHN & GEIBLER 1993), die in 2 cm Sedimenttiefe 12,7% Individuendominanz erreicht. TP-Konzentrationen über 90 µg/l und Chloridkonzentrationen > 55 mg/l wurden in den Havelseen vor 1900 nicht erreicht. Möglicherweise ist dieser kombinierte Effekt der städtischen Abwassereinleitungen der Auslöser für das Fußfassen dieser auffälligen Brackwasserart in der Kette der Havelseen unterhalb Berlins. Folgende Indikatorarten für anthropogene Störungen nach 1900 können benannt werden: *Navicula mutica* Kützing, *Nitzschia paleacea* Grunow, *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot, *Fragilaria construens f. exigua* (W. Smith) Hustedt, *Hippodonta hungarica* (Grunow) Ross und *Navicula integra* (W. Smith) Ralfs. In der Summe stellen diese hochindikativen Belastungszeiger jedoch weniger als 0,5% der Diatomeenschalen im Grundschlamm des

Breitlingsees, so dass ihr Einfluss auf die Bioindikationsverfahren und auf das Funktionieren des Ökosystems geringfügig bleibt.

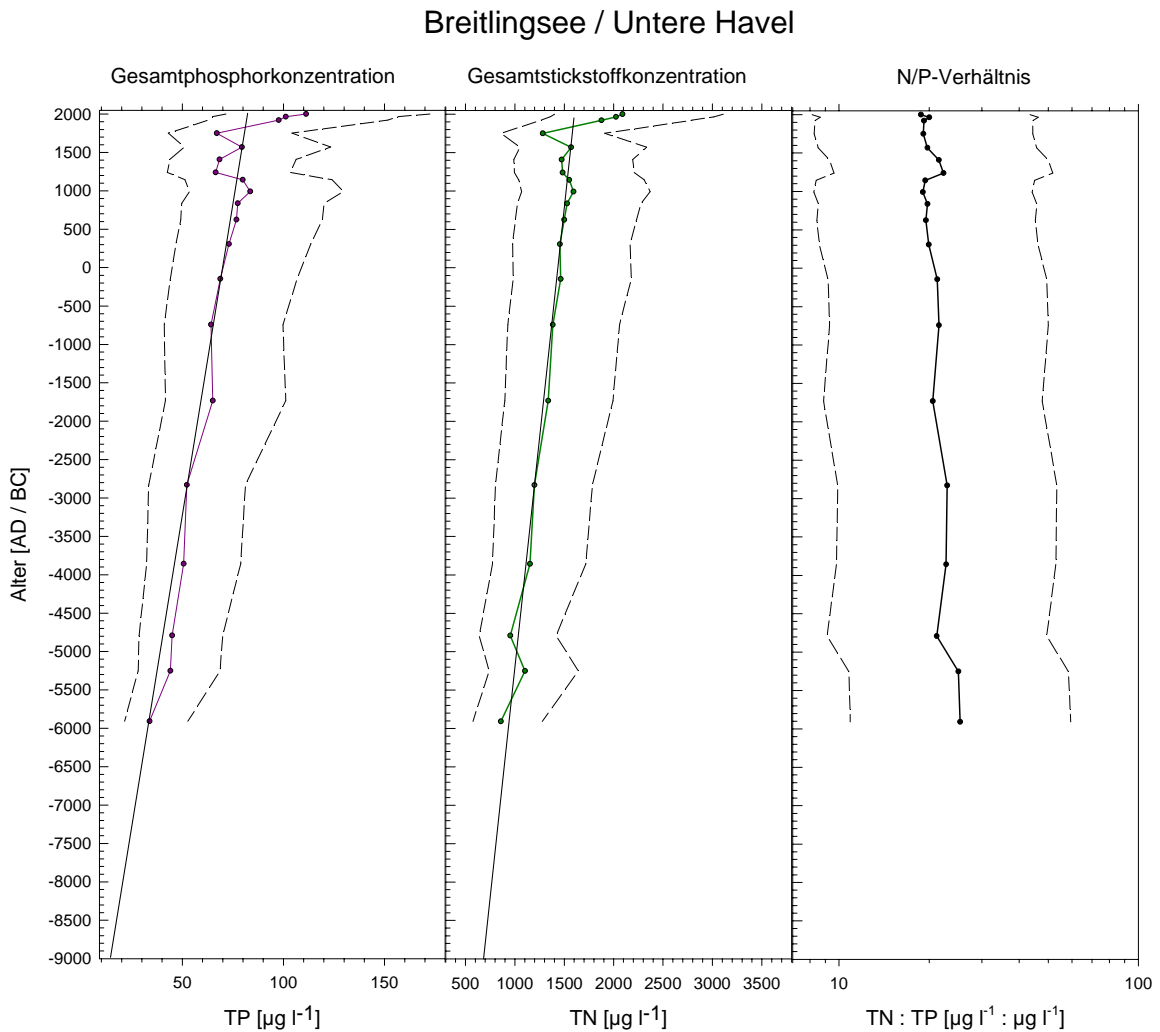


Abb. 3: Entwicklung der Nährstoffverhältnisse im Breitlingsee für den Zeitraum der letzten ca. 8.000 Jahre.

Ableitung typspezifischer Gesamtphosphorkonzentrationen und Qualitätsstufen

Die Zusammenschau der paläolimnologischen Befunde gestattet die Ableitung der natürlichen Nährstoffkonzentrationen für die verschiedenen Seentypen des Havelgebietes für Zeiträume ohne oder mit höchstens sehr geringer anthropogener Beeinflussung. Durch logarithmisch gefasste Klassen gleicher Breite ($0,5661 \ln$ TP-Einheiten) lassen sich ausgehend von den Referenzzuständen für jeden Seentyp die Grenzwerte für fünf Qualitätsstufen umreißen (Tab. 1). Grundsätzlich liegen die natürlichen Nährstoffkonzentrationen in Seen mit großen Einzugsgebieten bzw. mit großen Volumenquotienten höher als in den Seen des Typs 13.

Schichtungstyp	Volumen-quotient	retentions-wirksame Seen vorgelagert	Grundtyp nach Mathes et al. (2002)	diatomeen-ökologischer Subtyp	Referenzgewässer * = fossile Seen mit Zeitangabe	Jahresmittelwert der Gesamtposphorkonzentration in 0 - 5 m Tiefe (bzw. bis 0,5 m über Grund) für die ökologischen Qualitätsstufen				
						"sehr gut" (= Referenz-zustand)	"gut"	"mäßig"	"unbe-friedigend"	"schlecht"
geschichtet	< 1,5	nein	13	13	Kastavensee, Peetschsee	< 17	17 ... 30	31 55	55 ... 98	> 98
geschichtet	> 1,5 ... 5	nein	10	10a	Twernsee, Roofensee, Lübbese	< 17	17 ... 30	31 55	55 ... 98	> 98
geschichtet	> 5 ... 15	ja	10	10b	Küstrinsee	< 30	31 55	55 ... 98	98 ... 172	> 172
geschichtet	> 5 ... 15	nein	10	10c		< 41	41 ... 73	74 ... 130	131... 230	> 230
geschichtet	> 15 ... 50	ja	10	10d	*Stolpsee (vor 900 AD), Bötze	< 41	41 ... 73	74 ... 130	131... 230	> 230
geschichtet	> 15 ... 50	nein	10	10e	*Blankensee (vor 5500 BC)	< 55	55 ... 97	97... 172	173 ... 305	> 305
geschichtet	> 50	ja	10	10f	*Breitlingsee (8000-2500 BC)	< 55	55 ... 97	97... 172	173 ... 305	> 305
geschichtet	> 50	nein	10	10g	*Breitlingsee (2500-500 BC)	< 73	73 ... 130	131 ... 230	230 ... 405	> 405
ungeschichtet	< 1,5	nein	14	14	Großer Tietzensee	< 17	17 ... 30	31 55	55 ... 98	> 98
ungeschichtet	> 1,5 ... 5	nein	11	11a	Briesener See, Platowsee	< 30	31 55	55 ... 98	98 ... 172	> 172
ungeschichtet	> 5 ... 15	nein	11	11b	Plagesee, Felchowsee (FG Oder)	< 41	41 ... 73	74 ... 130	131... 230	> 230
ungeschichtet	> 15	ja	11	11c	Schlarnsee, Oberpfuhl	< 55	55 ... 97	97... 172	173 ... 305	> 305
ungeschichtet	> 15	nein	11	11d	*Blankensee (vor 1200 AD), Möllensee	< 55	55 ... 97	97... 172	173 ... 305	> 305
ungeschichtet	> 150	ja	12	12a	Röblinsee, Bütze	< 55	55 ... 97	97... 172	173 ... 305	> 305
ungeschichtet	> 150	nein	12	12b	*Blankensee (1200-1900 AD) *Breitlingsee (1200-1900 AD)	< 97	97... 172	173 ... 305	306 ... 538	> 538

Tabelle 1: Typspezifische Nährstoffkonzentrationen in Seen des Haveleinzugsgebiets, abgeleitet aus Diatomeenresten im Seesediment für Zeiträume ohne menschliche Beeinflussung und aus aktuellen Messwerten in Referenzgewässern.

Seen mit vielen Seen im Einzugsgebiet, wie z.B. der Stolpsee, haben bei ähnlichen Volumenquotienten offenbar niedrigere TP-Konzentrationen, als Seen ohne Seen im Einzugsgebiet, wie z.B. der fossile Blankensee während seiner Typ-10-Phase. Das liegt an der Retentionswirkung der Seen für Phosphor. Der Wert von TP = 40 µg/l stellt damit den Referenzwert für das hydromorphologisch bedingte längszonale natürliche Minimum der TP-Konzentrationen der oberen Havel nahe der heutigen Lage des Dorfes Bredereiche dar.

Test und Neuentwicklung von Diatomeenindizes zur Seenbewertung

Für 81 litorale Diatomeenproben (Eichdatensatz von SCHÖNFELDER et al. 2002) wurde der Trophieindex nach HOFMANN (1999) berechnet. Er reflektiert Eutrophierungseffekte in Seen des Typs 13 mit oligo- und mesotrophem Referenzzustand. Im Bereich hoher Eutrophie (TP=70 µg/l) erreicht er einen Erwartungswert von 4,0, verliert jedoch bereits oberhalb von 30 µg/l an Signifikanz. Das Ausmaß anthropogener Störungen des Trophiezustandes stark durchflossener flacher Seen des Tieflands ist mit diesem Trophieindex nur ungenau zu bestimmen. Problematisch ist auch, dass auch nur leicht eutrophierte große Seen mit TP < 30 µg/l (z.B. Parsteiner See (PAR) und Hardenbecker Haussee (HAR)) Trophieindizes nach HOFMANN (1999) über 4,0 erreichen können. Das bestätigt Ergebnisse von SCHAUMBURG et al. (2004), wonach die Anwendung des Trophieindex nach HOFMANN (1999) auf litorale Diatomeenproben von Schilf, Totholz und Makrophyten aus dem Frühjahr nicht immer zufriedenstellende Resultate für die Bewertung des ökologischen Zustands ergibt.

Als Beitrag zur Weiterentwicklung von Modulen für Bewertungsverfahren für natürlich eutrophe Seen mit Diatomeen wurden drei Trophieindizes erarbeitet. Sie wurden mit rezenten Diatomeenproben aus dem Litoral und dem Profundal am TP und TN des Freiwassers kalibriert. TP erwies sich in Kanonischen Korrespondenzanalysen (CCA) mit anschließenden Monte-Carlo-Permutationstests im Vergleich mit TN und Chlorid als die stärkere Einflussgröße auf die Zusammensetzung der benthischen Diatomeen. Die drei Indizes wurden numerisch abgeglichen, so dass ihre Werte direkt vergleichbar sind.

Der **Diatomeenindex für Litoralproben (DI-LIT)** ist für eine Bewertung der Nährstoffverfügbarkeit in Litoralbereichen natürlich hoch eutropher, durchflossener Seen geeignet. Er ist darüber hinaus auch an allen anderen Seentypen Norddeutschlands einsetzbar. Eine Anwendung des DI-LIT auf fossile Proben aus Profundalsedimenten wird nicht empfohlen, da diese systematisch eine andere Zusammensetzung haben als Litoralproben.

Der **Diatomeenindex für benthische Diatomeen in Profundalproben (DI-BENT)** wurde für eine Bewertung der Teilkomponente Mikrophytenthos anhand einer Probe aus dem Seetiefsten entwickelt und kann besonders für das operative Monitoring in seenreichen Regionen empfohlen werden. Er ist an allen Seentypen Norddeutschlands einsetzbar. Für die Ermittlung des DI-BENT genügt es, wenn ca. 400 Diatomeenschalen der benthischen Formen ausgezählt werden.

Der **Diatomeenindex für planktische Diatomeen in Profundalproben (DI-PROF)** wurde, aufbauend auf SCHÖNFELDER (2004), als Baustein für eine Bewertung von Seen und großen Flüssen mit der Teilkomponente Phytoplankton weiter entwickelt und getestet. Die Anwendung des DI-PROF auf Proben aus Sedimentlangkernen zeigt, dass der DI-PROF derzeit noch nicht für die Überwachung des Trophiezustands von Seen der Typen 10, 11 und

12 mit einem Volumenquotienten > 15 und von Flüssen empfohlen werden kann, weil er in natürlich eutrophen Seen und in der Havel zur Übersteuerung neigt, schnell in den Sättigungsbereich übergeht und dadurch das Ausmaß anthropogener Polytrophy nicht hinreichend nuanciert aufzeigen kann. Für Seen der Typen 13 und 14, 10 und 11 mit Volumenquotienten < 15 ist er im Bereich $TP = 10 \dots 40 \mu\text{g/l}$ als Metric für die biologisch basierte Überwachung der Nährstoffverfügbarkeit im Freiwasser zu empfehlen. Die Referenzzustände der drei neuen Diatomeenindizes wurden für den Seentyp 13 raumbezogen, für die Seentypen 10, 11 und 12 vorwiegend anhand der fossilen Proben aus Sedimentkernen und für den Seentyp 14 auf der Grundlage von Analogien zu den Typen 13 und 11 abgeleitet. Für die Bewertung eines Sees als Ganzes ist der Vergleich der Ergebnisse aller drei Indizes hilfreich, da sich die für verschiedene Lebensformen und Habitate getrennt abgeleiteten Informationen über die Nährstoffverfügbarkeit eines Sees ergänzen. Die Wurzel der mittleren quadrierten Abweichungen zwischen dem DI-PROF und dem DI-BENT beträgt 0,4476 Skaleneinheiten. Die Unterschiede der Nährstoffverfügbarkeit zwischen Freiwasser und Bodenzone können also relativ groß sein (Abb. 4).

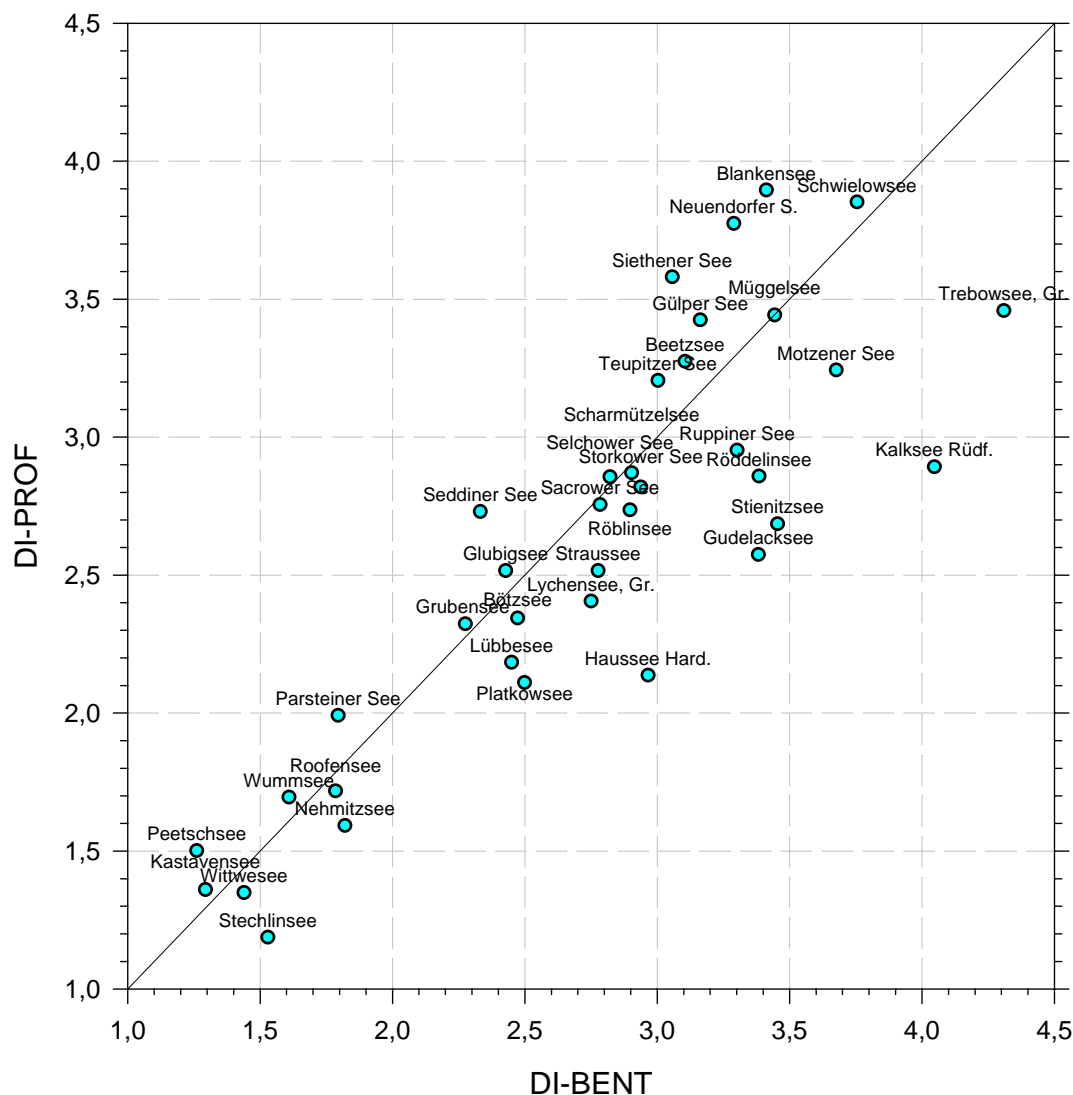


Abb. 4: Streuung der diatomeenbasierten Trophieindizes DI-PROF und DI-BENT für jeweils dieselbe Probe aus 30 Seen > 50 ha im Haveleinzugsgebiet und den Parsteiner See.

Die neuen Diatomeenindizes gestatten das Niveau der Nährstoffverfügbarkeit für das Phytoplankton und das Phytobenthos vergleichend zu bestimmen. Die Berechnung erfolgt analog zum Trophieindex nach HOFMANN (1999), mit dem Unterschied, dass die Wurzel der Dominanzwerte als Abundanzmaß verwendet wird. Die neuen Trophieindizes DI-PROF, DI-BENT und DI-LIT sind im relativ weit gefassten Bereich 9 – 300 µg/l TP linear proportional zum Logarithmus der TP-Konzentration im Wasser der jeweiligen Lebensbezirke und somit für die Indikation der Nährstoffverfügbarkeit der meisten Seen in Norddeutschland geeignet. Für die Abschätzung der TP-Konzentration anhand der neuen Indizes ist folgende Transferfunktion anzuwenden:

$$\ln(TP+1) = (DI + 0,8062) / 0,8832$$

Mit den Ergebnissen der Trophie-Klassifikation nach LAWA sind die Ergebnisse der Diatomeenindizes nicht unmittelbar zu vergleichen. Die neuen Diatomeenindizes reflektieren entsprechend ihrer Eichung maßgeblich die Nährstoffverfügbarkeit im jeweiligen Lebensraum, weniger die Planktonbiomasse im Epilimnion und insbesondere nicht nur diejenige der Sommermonate. Eine Einschätzung des Trophiezustandes eines Untersuchungsgewässers anhand der drei Indizes ist aber möglich, sofern man den Grad der Nährstoffverfügbarkeit als trophiebestimmende Kenngröße in Seen anerkennen will. Die Tabelle 2 bildet einen Vorschlag für eine Klassifikation des Trophiezustands von Seen anhand der drei Diatomeenindizes.

Tab. 2: Auf der Indikation mit Diatomeen basierende Trophieklassifikation für Seen.

Kürzel	Name der Trophieklasse	Wertebereich der Diatomeenindizes DI-PROF, DI-BENT und DI-LIT	Erwartungsbereich der Gesamtphosphor-konzentration [µg/l]
o	oligotroph	< 1,250	4,8 ... 9,3
m1	schwach mesotroph	1,250 – 1,749	9,3 ... 17
m2	stark mesotroph	1,750 – 2,249	17 ... 30
e1	eutroph	2,250 – 2,749	31 ... 55
e2	hoch eutroph	2,750 – 3,249	56 ... 97
p1	polytroph	3,250 – 3,749	98 ... 172
p2	hoch polytroph	3,750 – 4,249	173 ... 305
h1	hypertroph	4,250 – 4,749	306 ... 538
h2	stark hypertroph	4,750 – 5,249	539 ... 949
h3	extrem hypertroph	> 5,250	> 949

Für die Referenzgewässer aus dem Land Brandenburg und die fossilen Proben aus Sedimentlangkernen wurde untersucht, welche natürliche Obergrenze die Diatomeenindizes aufweisen. Zusätzlich wurden die Diatomeenindizes rezenter Referenzgewässer

verschiedenen Typs ermittelt. Die Tabelle 3 gibt die Ergebnisse über die Referenzzustände der Indizes getrennt für einzelne Subtypen wieder.

Schichtungstyp	Volumen-quotient	retentions- wirksame Seen vorgelagert	Grundtyp nach Mathes et al. (2002)	diatomeen- ökologischer Subtyp	Referenzgewässer * = fossile Seen mit Zeitangabe in Klammern wahrscheinliche Referenzgewässer	Jahresmittelwert der Gesamphosphorkonzentration in 0 - 5 m Tiefe (bzw. bis 0,5 m über Grund) für die ökologischen Qualitätsstufen				
						"sehr gut" (= Referenz- zustand)	"gut"	"mäßig"	"unbe- friedigend"	"schlecht"
geschichtet	< 1,5	nein	13	13	Kastavensee, Peetschsee	< 1,75	1,75 ... 2,24	2,25 2,74	2,75 ... 3,24	> 3,24
geschichtet	> 1,5 ... 5	nein	10	10a	Roofensee, Lübbese, (Twerensee),	< 1,75	1,75 ... 2,24	2,25 2,74	2,75 ... 3,24	> 3,24
geschichtet	> 5 ... 15	ja	10	10b	(Küstrinsee)	< 2,25	2,25 ... 2,74	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	> 3,74
geschichtet	> 5 ... 15	nein	10	10c		< 2,50	2,50 ... 2,99	3,00 ... 3,49	3,50 ... 3,99	> 3,99
geschichtet	> 15 ... 50	ja	10	10d	*Stolpsee (vor 900 AD), Bötze	< 2,50	2,50 ... 2,99	3,00 ... 3,49	3,50 ... 3,99	> 3,99
geschichtet	> 15 ... 50	nein	10	10e	*Blankensee (vor 5500 BC)	< 2,75	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	> 4,24
geschichtet	> 50	ja	10	10f	*Breitlingsee (8000-2500 BC)	< 2,75	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	> 4,24
geschichtet	> 50	nein	10	10g	*Breitlingsee (2500-500 BC)	< 3,00	3,00 ... 3,49	3,50 ... 3,99	4,00 ... 4,49	> 4,49
ungeschichtet	< 1,5	nein	14	14	Großer Tietzensee	< 1,75	1,75 ... 2,24	2,25 2,74	2,75 ... 3,24	> 3,24
ungeschichtet	> 1,5 ... 5	nein	11	11a	Briesener See, Platkowsee	< 2,25	2,25 ... 2,74	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	> 3,74
ungeschichtet	> 5 ... 15	nein	11	11b	Plagesee, Felchowsee (FG Oder)	< 2,50	2,50 ... 2,99	3,00 ... 3,49	3,50 ... 3,99	> 3,99
ungeschichtet	> 15	ja	11	11c	Schlarnsee, Oberpfuhl	< 2,75	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	> 4,24
ungeschichtet	> 15	nein	11	11d	*Blankensee (vor 1200 AD), Möllensee	< 2,75	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	> 4,24
ungeschichtet	> 150	ja	12	12a	Röblinsee, Bütze	< 2,75	2,75 ... 3,24	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	> 4,24
ungeschichtet	> 150	nein	12	12b	*Blankensee (1200-1900 AD) *Breitlingsee (1200-1900 AD)	< 3,25	3,25 ... 3,74	3,75 ... 4,24	4,25 ... 4,74	> 4,74

Tabelle 3: Typspezifische Referenzwerte für die Diatomeen-Indizes DI-LIT und DI-BENT in Seen des Haveleinzugsgebiets, abgeleitet aus Diatomeenresten im Seesediment für Zeiträume ohne menschliche Beeinflussung und aus Daten zur aktuellen Diatomeenbesiedlung in Referenzgewässern. Der DI-PROF ist für Seen des Typs 12 und der Subtypen 10d-g sowie 11c-d derzeit nicht zu bewerten.

6 Schlussfolgerungen

Die von der Havel durchflossenen Seen und die Havel selbst wären auch ohne menschliche Einwirkungen heute eutroph (oberhalb Spandau) oder hoch eutroph (unterhalb Spandau). Der sukzessive, gleichmäßige Anstieg der TP-Konzentration im Breitlingsee im Zeitraum 8000 BC – 1000 AD war nicht nur eine Folge seiner eigenen Verflachung, sondern insbesondere auch die Folge der allmählichen Verflachung der vorgeschalteten Berliner und Potsdamer Havelseen. Dadurch verringerte sich ihre Wirkung als Phosphorsenken, die heute praktisch kaum noch vorhanden ist.

Die TP-Konzentration der Nieplitz, sie mag geogen bedingt wie die regionaltypischen Grundwasserkonzentrationen zwischen 60 und 80 $\mu\text{g/l}$ gelegen haben, hat hingegen offenbar schon immer den Blankensee ohne Retentionsverluste erreicht, weil sie vorher keine retentionswirksamen Seebecken durchfloss. Die ausgesprochene Planktondominanz im Blankensee in der Zeit 8000 – 500 BC belegt die große Bedeutung der sommerlichen P-Rücklösung in Flachseen. So können die seeinternen Mittelwerte der TP-Konzentration höher sein, als die durchflussgewichteten Jahresmittelwerte im Zu- und Abfluss. So erklärt sich das Phänomen natürlich hoch eutropher Zustände in stark durchflossenen Flachseen nicht allein durch die hohe geogene Grundbelastung, sondern anteilig auch durch die Saisonalität der Abflussspende. Sie bedingt eine starke TP-Anreicherung im See während der Sommermonate. Die in Zeiträumen ohne anthropogene Einflüsse stark schwankenden TP-Konzentrationen reflektieren damit wahrscheinlich die Veränderlichkeit der Saisonalität der Abflussspende. Hohe TP-Konzentrationen sind wahrscheinlich mit relativ niedrigen Sommerabflüssen korreliert.

Im Hinblick auf die Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Havelgebiet ist zu schlussfolgern, dass in hypertrophen und polytrophen Flachseen mittelfristig ein günstigerer Trophiezustand erreicht werden kann, wenn während der hohen sommerlichen TP-Spitzen möglichst große Zu- und vor allem Abflüsse eingeregelt werden können. Eine konsequente künstliche Stauhaltung im Juli und August minimiert hingegen die P-Austräge und verstärkt damit die natürliche Tendenz zur Polytrophy. Die Möglichkeiten, durch eine Vergleichmäßigung des Jahresgangs der Abflüsse wirksam zur Rückführung hypertropher und polytropher Seen des Havelgebietes in einen eutrophen Zustand beizutragen, sollten deshalb im Rahmen von Maßnahmenprogrammen durchgerechnet werden. Eine Rückführung stark durchflossener Seen in einen schwach eutrophen Zustand ist heute allerdings nur noch für Seen mit mittleren Tiefen > 2 m im Einzugsgebiet zu erwarten, weil nur solche Seen bei starker Durchflussfracht noch nennenswerte Potenziale zur Netto-P-Akkumulation aufweisen.

Mit benthischen Diatomeen, die lebend im Litoral oder mit gleichem Erfolg als subfossile Reste im Profundal gesammelt werden können, können über den DI-LIT und den DI-BENT auch in stark durchflossenen Seentypen fünf Qualitätsstufen gemäß EU-WRRL umrissen werden. Mit planktischen Diatomeen (DI-PROF) allein ist das leider noch nicht mit der notwendigen Sicherheit und Zuverlässigkeit möglich. Eine künftige Verbesserung der Indikationsmöglichkeiten mit Planktondiatomeen kann nur durch eine Erweiterung des

rezenten Eichdatensatzes mit dem Ziel der genaueren Quantifizierung der autökologischen Ansprüche erreicht werden.

Die Entnahme des oberen Zentimeters frischen Schlammes von der tiefsten Stelle bzw. bei Flachseen zweckmäßigerweise aus der Seemitte hat für die Analyse und Bewertung des rezenten Zustands von Seen mittels Diatomeenanalyse große Vorteile:

1. Die oft vergebliche Suche nach Steinen als "standardisierte Aufwuchsträger", die in den meisten eutrophen flachen Seen im Land Brandenburg nur ausnahmsweise in ungestörten Litoralbezirken liegen, kann entfallen. Die Ergebnisse aus verschiedenen Seen werden damit besser vergleichbar.
2. Die Zusammensetzung der Algenschalen im "Profundal"-Schlamm entspricht immer einem über die unterschiedlichsten Mikrohabitate des Sees flächenmäßig gewogenen Mittelwert. Verschiebungen der Häufigkeit einzelner Mikrohabitate als Ausdruck sich verändernder Umweltbedingungen werden damit immer in biozönotischen Reaktionen abgebildet und zwar wiederum flächenmäßig so gewichtet, wie sie im See eingetreten sind.
3. Die Probenahme kann an der selben Stelle, wie die Planktonbeprobung erfolgen. Das führt zu logistischer Vereinfachung beim Monitoring.
4. Die aktuelle Besiedlung eines Sees kann direkt mit derjenigen jeder beliebigen Zeit der letzten Jahrtausende verglichen werden.

Die aufwändige Präparationstechnik als Voraussetzung für die Bestimmung der Arten ist allerdings die gleiche wie bei Litoralproben.

Die Ermittlung des Litoralindex DI-LIT ergibt räumlich konkrete Aussagen über die Nährstoffbelastung verschiedener Uferabschnitte. Diese Aussagen werden bei der Analyse von Belastungsursachen den DI-BENT also maßgeblich unterstützen können.

Für eine Trennung der Seentypen 11 und 12 wurden keine biozönotischen Begründungen gefunden. Der Blankensee und der Breitlingsee waren unabhängig von ihrer Schichtung und Verweilzeit jahrtausendlang hoch eutroph mit einer daran angepassten, normal artenreichen Diatomeenflora. Ein deutlicher Wechsel der Artenzusammensetzung der Diatomeen trat im Blankensee weniger an der Verweilzeitgrenze von 30 Tagen auf, als vielmehr beim Erreichen der Grundsicht als Folge weit fortgeschrittener Abflachung. Aus der Sicht der Ökologie der Diatomeen sollten deshalb am einfachsten drei ungeschichtete Seentypen in Abhängigkeit vom Volumenquotienten (Trennung der Typen 14, 11 und 12 bei $VQ > 1,5$ und $VQ > 15$) formuliert werden. Für die durchflossenen Typen 11 und 12 sollten mit dem Grenzwert der mittleren Tiefe = 2 m jeweils zwei diatomeenökologische Subtypen (planktisch / benthisch dominiert) unterschieden werden. Für den Typ 14 wird grundsätzlich, wie auch für die durchflossenen Seen < 2 m mittlerer Tiefe im Referenzzustand nachgewiesen, überwiegende Grundsicht mit Dominanz benthischer Arten angenommen.

6 Referenzen

- EUROPEAN UNION (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. PE-CONS 3639/1/00, REV 1, ENV 221, CODEC 513, pp. 1-152.
- HOFMANN, G. (1999): Trophiebewertung von Seen anhand von Aufwuchsdiatomeen. In: Tümping, W. von & Friedrich, G. (Hrsg.): Biologische Gewässeruntersuchung 2, 319-333.
- JAHN, R. & GEIBLER, U. (1993): Zur Bedeutung von Proben-Sammlungen mikroskopischer Organismen anhand von Diatomeen-Beispielen. Festschrift Prof. W. Krutzsch, Museum für Naturkunde Berlin, 19-26.
- MATHES, J., PLAMBECK, G. & SCHAUMBURG, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: DENEKE, R. & NIXDORF, B. (Hrsg.), Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite, BTUC-AR 5/2002, ISSN 1434-6834.
- SCHAUMBURG, J., SCHMEDITJE, U., SCHRANZ, C., KÖPF, B., SCHNEIDER, S., STELZER, D. & HOFMANN, G. 2004. Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1-46.
- SCHMEDITJE, U., SOMMERHÄUSER, M., BRAUKMANN, U., BRIEM, E., HAASE, P., & HERING, D. (2001): "Top-Down"-Konzept einer biozönotisch begründeten Fließgewässertypologie Deutschlands. In: Deutsche Gesellschaft für Limnologie (Hrsg.): Tagungsbericht 2000 (Magdeburg), Tutzing 2001, 147-151.
- SCHÖNFELDER, I. (2004): Anwendung und Validierung von Indizes zur Bewertung von Seen gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie auf der Basis von Kieselalgen aus dem Profundal Schleswig-Holsteinischer Seen. Studie im Auftrag des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. 1-35 + Anhang.
- SCHÖNFELDER, I., GELBRECHT, J., SCHÖNFELDER, J., STEINBERG, C. E. W. (2002): Relationships between littoral diatoms and their chemical environment in northeastern German lakes and rivers. *J. Phycol.* 38, 66-82.