

Entwicklung des Behlendorfer Sees nach einer internen Phosphatfällung mit Bentophos®

Der 63 ha große und 15 m tiefe Behlendorfer See liegt im Naturpark Lauenburgische Seen westlich von Ratzeburg in Schleswig-Holstein. Der See war seit vielen Jahren mit Nährstoffen übersorgt. Daher war das Phytoplankton des natürlicherweise artenreichen klaren Sees (Seetyp 13) im Sommer durch Cyanobakterien (Blaualgen) dominiert. Die Unterwasservegetation war relativ schlecht entwickelt. In diesem Zustand erreichte der See nicht die Ziele der WRRL. Eine Analyse des Einzugsgebietes zeigte, dass die Belastungen des Sees durch externe Einträge mit ca. 90 kg Phosphor jährlich relativ gering waren. Die Hauptnährstoffquellen waren nicht mehr im Einzugsgebiet des Sees zu finden, sondern – als Folge der früheren Belastung – im See selbst. Jährlich wurden ca. 300 kg Phosphor aus dem Sediment rückgelöst.

Um das aus dem Sediment regelmäßig rückgelöste Phosphat zu binden und dem Stoffkreislauf des Sees zu entziehen und damit die Erholung des Sees zu beschleunigen, wurde im Dezember 2009 der See mit Bentophos behandelt. Es wurden innerhalb von 14 Tagen 214 Tonnen Bentophos® in den Behlendorfer See eingebracht. Da die Fischfauna im Behlendorfer See im damaligen Trophiezustand von Weißfischen dominiert wurde, der Zielzustand jedoch ein nährstoffärmerer, mesotropher See war, in dem der Flussbarsch überwiegt, wurden vor der Applikation des Fällmittels 4 Tonnen Weißfische mit drei Netzzügen entnommen.

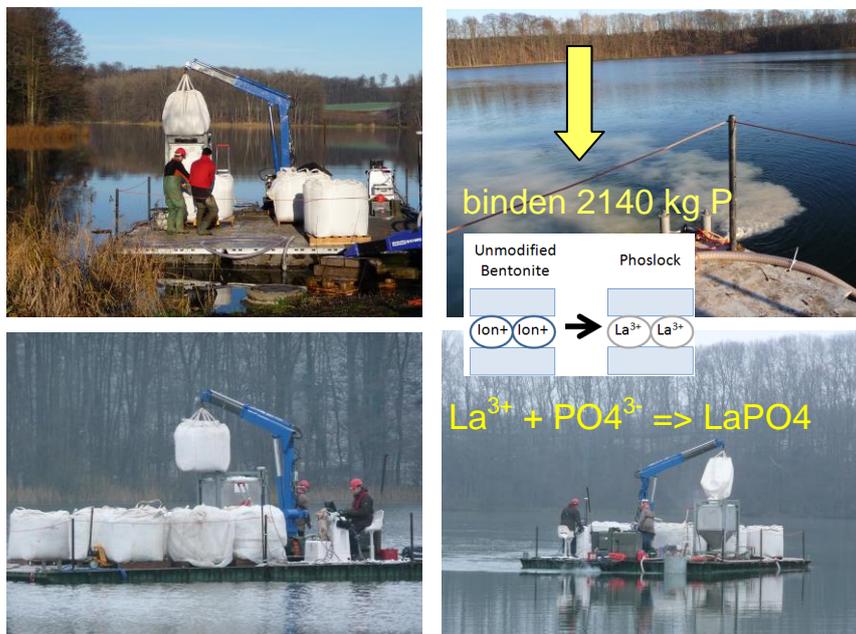


Abbildung 1: Ausbringung von Bentophos® in den Behlendorfer See im November 2009

Erste Erfolge konnten bereits 2010 festgestellt werden. Der See wurde 2010 das erste Mal anhand der Phosphor- und Chlorophyll a-Konzentration und der Sichttiefe als mesotroph eingestuft, obwohl die Chlorophyll a-Konzentration diesem Trend etwas verzögert folgte (siehe Tabelle1).

Tabelle 1: Entwicklung der Trophie-Parameter am Behlendorfer See in 1 m Tiefe 2004, 2010-2015

	Gesamt-Phosphor (Frühjahr)	Gesamt-Phosphor (Saisonmittel)	Sichttiefe	Chlorophyll a	Trophiestufe
	µg/l	µg/l	m	µg/l	
2004	100	57	1,4	21	eutroph 2
2010	23	23	2,6	18	mesotroph 2
2011	27	27	2,6	8	mesotroph 2
2012	28	24	1,8	13	eutroph 1
2013	30	24	1,8	10	mesotroph 2
2014	35	24	2,2	11	mesotroph 2
2015	34	24	2,6	10	mesotroph

Die **Phosphorkonzentration** hatte in allen drei Probenahmetiefen stark abgenommen (siehe Abbildung 1). Eine Phosphatanreicherung in 14 m Tiefe fand nicht mehr statt. 2012 verringerte sich jedoch die Sichttiefe wieder, die Chlorophyll a-Konzentration und die Gesamt-Phosphor-Konzentration im Frühjahr stiegen tendenziell an. 2014 und 2015 wurden wiederum mit bis zu 5 m die höchsten Sichttiefen festgestellt.

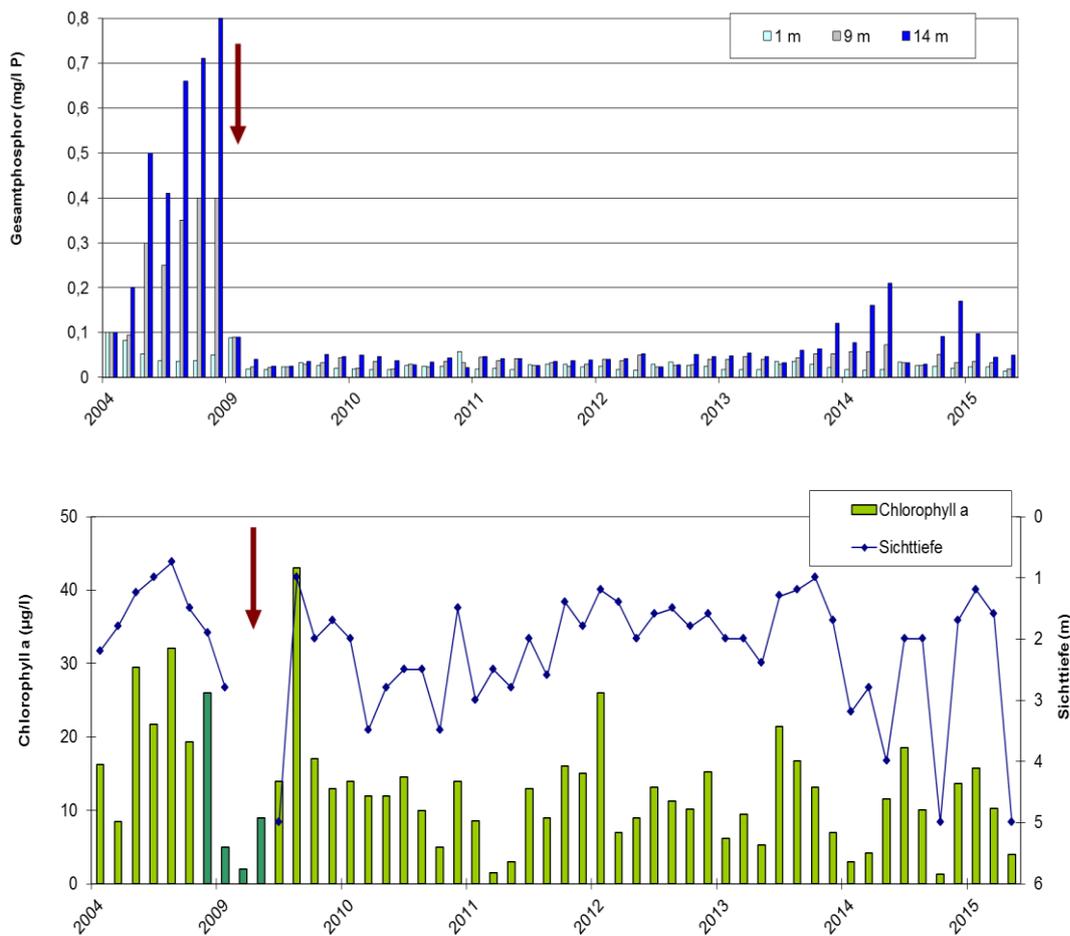


Abbildung 2: Die Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration (oben) sowie der Chlorophyll a Konzentration und der Sichttiefe (unten) 2004, 2009 bis 2015. Der rote Pfeil stellt den Zeitpunkt der P-Fällung dar.

2014 und 2015 änderte sich das Bild hinsichtlich des Phosphorjahresganges vor allen Dingen in 14 m. Eine schwache Anreicherung in der Tiefe war wieder zu erkennen (siehe Abbildung 2). In 1 m Tiefe waren die Phosphor- und Chlorophyll-a-Konzentrationen aber stabil. Es ist nun abzuwarten, ob sich ein neues Gleichgewicht einstellt, oder ob die Phosphorkonzentrationen im Sommer in 14 m aufgrund einer wieder erhöhten Rücklösung aus dem Sediment tendenziell von Jahr zu Jahr ansteigen. 2015 waren die maximalen P-Konzentrationen in 14 m eher wieder etwas geringer als im Vorjahr.

Anhand des **Phytoplanktons** (Algenzusammensetzung) wurde der See 2011 erstmals mit gut bewertet (ARP & MAIER 2012). Insgesamt wurden im Behlendorfer See 2011 wie auch 2012 und 2013 Taxa mit Indikation für eine geringe Trophie gefunden, wobei die Anteile meist sehr gering waren. Dazu zählen u.a. *Bitrichia chodatii* aus der Gruppe der Chrysophyceen (Goldalgen), *Coelosphaerium kuetzingianum* und *Anabaena lemmermannii* aus der Gruppe der Cyanobakterien (Blaualgen) und schließlich *Wilea vilhelmii* und *Quadrigula pfitzeri* aus der Gruppe der Chlorophyceen (Grünalgen). Die sehr nährstoffarme Verhältnisse anzeigende, relativ seltene Kieselalgenart *Cyclotella comensis*, die 2012 erstmalig auftrat, und die 2012 erstmalig in höheren Anteilen auftretende Art *Cyclotella ocellata*, die ebenfalls nährstoffarme Verhältnisse anzeigt, traten beide 2013 erneut auf (ARP et al. 2015).

Im Jahr 2014 ist eine leichte Zunahme der Phytoplanktongehalte gegenüber 2013 erkennbar, wobei erstmalig seit der Zeit vor der Restaurierung wieder gehäuft Blaualgen der Gattung *Oscillatoriales* auftraten (siehe Abbildung 3). Der PSI hat sich 2014 gegenüber 2013 in allen 4 Teilmetrices verschlechtert, insbesondere bei der Biomasse. Bezüglich der Indikatorarten gibt es jedoch auch 2014 weiterhin zahlreiche Arten mit geringen Trophieansprüchen, aber in der Tendenz weniger. Dies ist besonders deutlich bei den Profundaldiatomeen, die 2013 eine deutlich höhere Anzahl von *Cyclotella*-Arten aufwiesen (ARP et al. 2015).

Beim Tiefenchlorophyll-Maximum (DCM) im Vertikalprofil, einem gemeinsames Merkmal aller untersuchten Jahre im Behlendorfer See, und beim Phosphor im Tiefenbereich sind Veränderungen im Jahr 2014 gegenüber den Vorjahren erkennbar, die ebenso eher einen negativen Trend anzeigen:

- Der Phosphor im Tiefenwasser (9 und 14 m Tiefe) hat 2014 gegenüber den Vorjahren deutlich zugenommen.
- Das Tiefenchlorophyll-Maximum (DCM) hat vermutlich aufgrund der Zunahme der Nährstoffkonzentration in den tieferen Wasserschichten in der Stärke und in der Dauer gegenüber den Vorjahren zugenommen.

Der ökologische Zustand wird jedoch auch 2014 anhand des Phytoplanktons noch mit 2 bewertet.

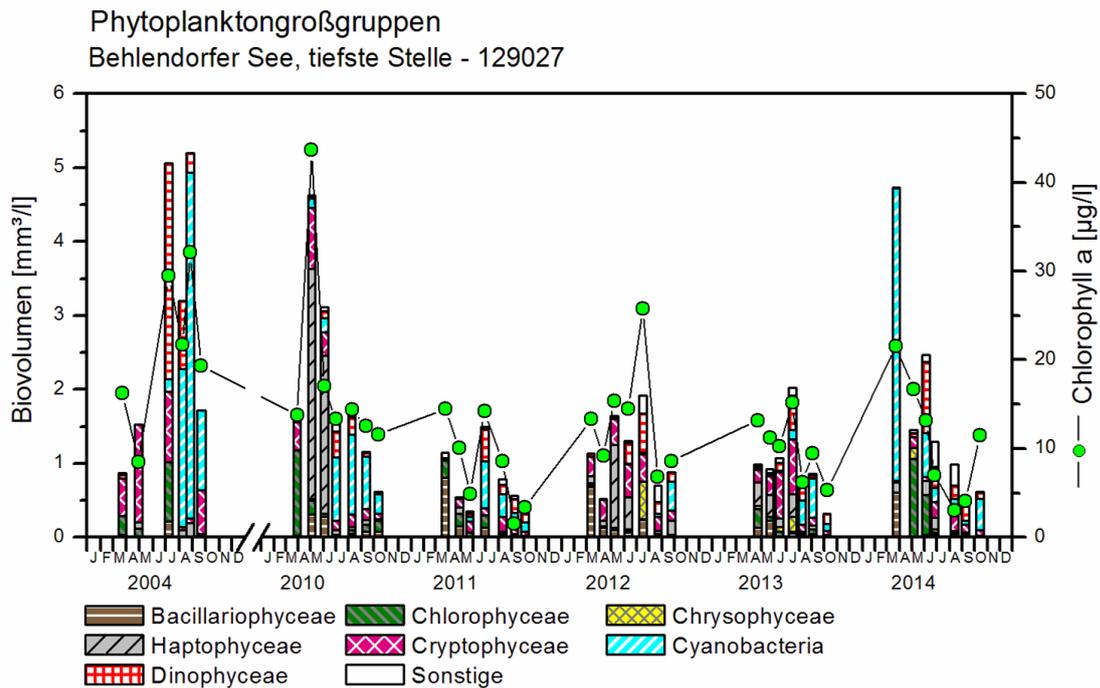


Abbildung 3: Phytoplanktongroßgruppen im Behlendorfer See 2004, 2010-2014 (aus ARP 2015)

Beim **Zooplankton** (Rädertiere und Kleinkrebse) waren 2014 Cladoceren (Wasserflöhe) insgesamt die dominante Gruppe (ARP et al. 2015). Effektive Filtrierer (Daphnien) waren im Hochsommer und Herbst stark vertreten. Der Umsatz von Phyto- in Zooplanktonmasse war 2014 selbst im Hochsommer im günstigen Bereich und über die letzten 3 Jahre stabil. Beim Fraßpotenzial (Grazing Potential) ist seit der Restaurierung und dem Abfischen der Weißfische im Jahr 2009 ein Abwärtstrend (Trend hin zu kleineren Wasserfloharten) festzustellen, was ein Hinweis darauf sein könnte, dass sich die Weißfische wieder vermehrt ausbreiten. Die Zooplankton-Biomasse stuft den Seen 2014 (wie die Jahre seit 2012) in den mesotrophen Bereich ein.

Die bessere Durchlichtung des Sees führte wiederum zu einer Ausbreitung der **submersen Makrophyten (Unterwasserpflanzen)**. Gerade diese Stärkung der Unterwasservegetation ist Voraussetzung dafür, dass sich der Behlendorfer See nachhaltig zu einem klareren und artenreicheren Gewässer entwickelt, so wie es die EG-Wasserrahmenrichtlinie vorschreibt, denn die Wasserpflanzen konkurrieren mit den Mikroalgen um die Nährstoffe. Je dichter die Vegetation unter Wasser ist, desto geringer ist das Algenwachstum im Freiwasser und desto klarer ist der See. Gleichzeitig sind die bewachsenen Uferzonen die Kinderstube des Ökosystems, sie sind Lebensraum für zahlreiche Pflanzen- und Tierarten.

Die Ergebnisse der Unterwasserpflanzen-Kartierung zeigen beim Behlendorfer See eine deutliche Verbesserung hinsichtlich des Arteninventars ab 2010 (STUHR 2015). Im Vergleich mit den Daten von 2004 hatte sich die Artenzahl an den Monitoringstellen durch das Neuauftreten von *Chara globularis*, *Potamogeton crispus*, *Ranunculus circinatus*, *Potamogeton friesii* u.a. deutlich von 4 (2004) auf 9 (bzw. 11, 2010-2014) erhöht. Seit 2010 bis heute erscheinen Arteninventar und Dichte der Unterwasserpflanzen jedoch weitgehend konstant.

Tabelle 2: Vergleich des im Zuge von 6 Untersuchungen 2004 bis 2014 ermittelten Tauchblattarteninventars des Behlendorfer Sees: Die Angaben für die einzelnen Arten beziehen sich auf die Häufigkeit ihres Auftretens an acht 2014 und 2010 im Gewässer untersuchten Monitoringstellen (Maximalwert daher = 8). Angaben 2004 (vgl. MARILIM 2005): Angegeben ist die Häufigkeit des Auftretens einzelner Arten bezogen auf 4 Monitoringstellen (Maximalwert daher = 4). Die in Klammern aufgeführten Werte geben die Stetigkeit der entspr. Art auf ganze Prozentwerte gerundet bezogen auf 8 (2014 - 2010) bzw. 4 (2004) Monitoringstellen an. Für 2004 sind zudem einige Arten angegeben, die nur außerhalb der Monitoringstellen erfasst wurden (Angabe „v“= vorhanden) (aus STUHR 2015).

Art	2014 (n=8)	2013 (n=8)	2012 (n=8)	2011 (n=8)	2010 (n=8)	2004 (n=4)
<i>Butomus umbellatus</i> (Submersform)	2 (25)	1 (13)	v	1 (13)	1 (13)	-
<i>Callitriche hermaphroditica</i>	v	v	v	-	v	-
<i>Ceratophyllum demersum</i>	2 (25)	4 (50)	3 (38)	4 (50)	4 (50)	4 (100)
<i>Chara contraria</i>	v	v	v	-	v	-
<i>Chara globularis</i>	3 (38)	4 (50)	5 (63)	4 (50)	6 (75)	-
<i>Chara vulgaris</i>	-	-	v	-	-	-
<i>Elodea canadensis</i>	3 (38)	6 (75)	5 (63)	6 (75)	6 (75)	3 (75)
<i>Myriophyllum spicatum</i>	5 (63)	6 (75)	8 (100)	6 (75)	5 (63)	3 (75)
<i>Potamogeton crispus</i>	5 (63)	3 (38)	4 (50)	3 (38)	4 (50)	v
<i>Potamogeton friesii</i>	2 (25)	-	1 (13)	-	2 (25)	v
<i>Potamogeton pectinatus</i>	-	-	1 (13)	-	v	v
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	7 (88)	5 (63)	6 (75)	5 (63)	5 (63)	2 (50)
<i>Potamogeton pusillus</i>	-	1 (13)	-	1 (13)	1 (13)	-
<i>Potamogeton trichoides</i>	-	-	-	-	1 (13)	-
<i>Ranunculus aquatilis</i>	-	-	-	-	-	v
<i>Ranunculus circinatus</i>	4 (50)	8 (100)	6 (75)	8 (100)	5 (63)	v
Gesamtartenzahl (Monitoringstellen)	9	9	9	9	11	4
Anzahl Artfunde (an 8 MS)	33	38	39	38	40	12
Gesamtartenzahl (Gewässer)	11	11	13	9	14	9

Mit insgesamt 11 Unterwasserpflanzenarten, darunter zwei gefährdeten, war der Behlendorfer See 2014 als nur mäßig artenreiches Gewässer einzustufen (STUHR 2015). Bezeichnend für seine Submersvegetation war eine in weiten Teilen des Gewässers ausgeprägte Dominanz von *Myriophyllum spicatum* (Ähriges Tausendblatt), das an fast allen Standorten mit flacher abfallendem Litoral bzw. mit stärkerer Muddeakkumulation auftrat. Hierzu zählten alle Uferbereiche mit Ausnahme des steiler abfallenden Nordufers. Besonders in den Buchten traten die *Myriophyllum*-Bestände dann auch großflächig und meist in Wassertiefen zwischen 1,5 und 3,5 m in Erscheinung. Als weitere Begleitarten fanden sich hier in z.T. ebenfalls hohen Abundanzen eutraphente, gegenüber höherer Trophie tolerante Arten wie *Ceratophyllum demersum* (Raues Hornblatt) und *Potamogeton crispus* (Krauses Laichkraut), zuweilen traten eingestreut und in meist kleineren Beständen *Potamogeton perfoliatus*, *Potamogeton friesii*, *Chara globularis*, *Ranunculus circinatus* oder *Elodea canadensis* auf. An steiler abfallenden Litoralabschnitten, so am Nordufer, traten i.d.R. nur ± spärlich entwickelte Makrophytenbestände auf. Einzige Art, die hier zuweilen etwas höhere Deckungen erreichte, war *Potamogeton perfoliatus*, ansonsten traten hier v.a. Arten wie *Chara globularis*, *Ranunculus circinatus* oder *Elodea canadensis* in geringen Häufigkeiten auf. Als einzige gefährdete Arten wurden punktuell *Callitriche hermaphroditica* (Herbst-Wasserstern) (RL 3) und *Chara contraria* (Gegensätzliche Armleuchteralge) (RL 3) beobachtet. Eine Armleuchteralgenzone fehlte dem Gewässer, Schwimmblattvegetation fand sich regelmäßig in windgeschützter Lage in den Buchten, vorherrschende Art war *Nuphar lutea*, die bis etwa 2 m Wassertiefe vordrang. Die untere Makrophytengrenze im Behlendorfer See schwankte 2014 zwischen 3,1 und 4,2 m Wassertiefe (siehe Abbildung 4) und lag damit im für eutrophe Gewässer typischen Bereich

2014 ergaben sich für einzelne Arten leichte Rückgänge hinsichtlich ihrer Stetigkeit an den acht Messstellen, die außerhalb des bisherigen, seit 2010 festgestellten Schwankungsbereiches lagen. Dies betraf *Ceratophyllum demersum*, *Chara globularis*, *Eloдея canadensis* und *Ranunculus circinatus*, die allesamt etwas seltener als in den Vorjahren beobachtet wurden. Ähnliche Rückgangstendenzen zeigte *Myriophyllum spicatum*, das 2014 nur an fünf Messstellen auftrat und damit den ebenfalls relativ geringen Stetigkeitswert von 2010 erreichte (siehe Tabelle 1). Im Gegensatz dazu scheinen sich Arten wie *Potamogeton perfoliatus* und *P. crispus* allmählich im Gewässer auszubreiten, auch wenn die Abundanzen in Einzelfällen gegenüber dem Vorjahr rückläufig sind. Die durchschnittlichen Deckungswerte für die Submersvegetation blieben 2014 nahezu unverändert, auffällig sind jedoch die Abundanzrückgänge im Bereich der aufgrund des steilen Litorals bislang meist nur spärlich bewachsenen drei Messstellen am Nordufer. Die Durchschnittswerte für Artenzahl und untere Makrophytengrenze gingen 2014 leicht zurück, es zeigen sich aber im Vergleich mit den seit 2010 erhobenen Werten keine signifikanten Unterschiede. So liegt etwa der Durchschnittswert für die untere Makrophytengrenze 2014 mit 3,7 m Wassertiefe zwar niedriger als der des Vorjahres 2013 (4,1 m), aber immer noch höher als der von 2010 (3,6 m). Im Hinblick auf die Bewertung nach SCHAUMBURG et al. (2013:27ff.) ergeben sich 2014 im Vergleich zum Vorjahr nahezu identische Ergebnisse.

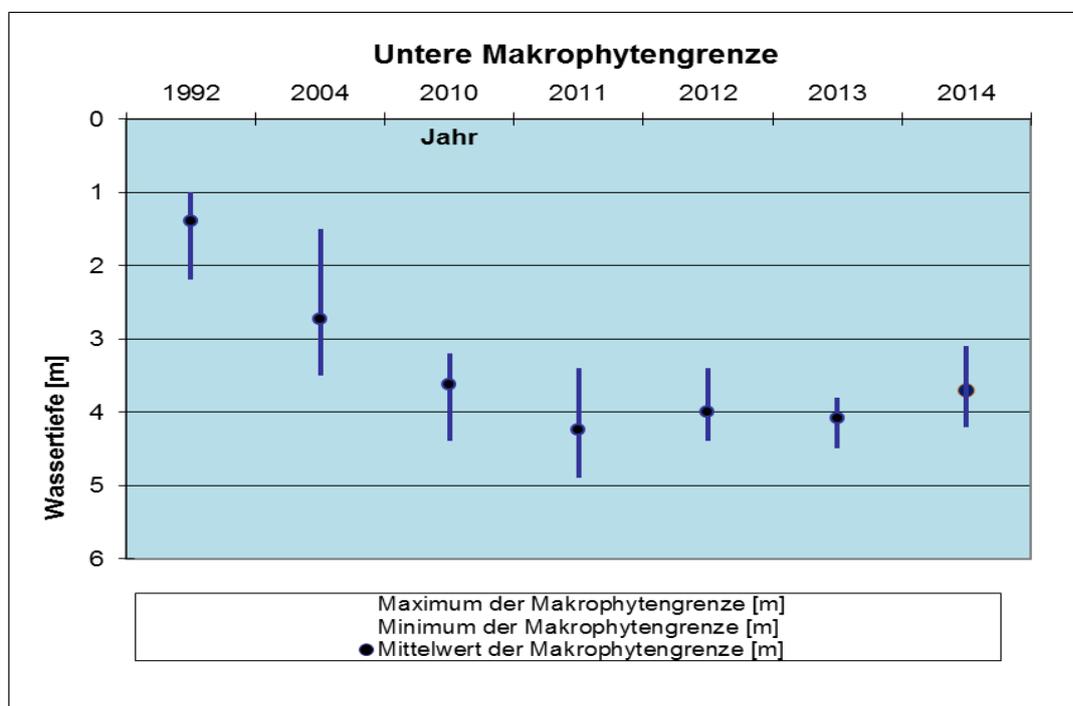


Abbildung 4: Darstellung der Unteren Makrophytengrenze als Maximum und Mittelwert 2004, 2010-2014.

Zusammengefasst zeigen sich für den Behlendorfer See gegenüber dem Vorjahr nur wenig abweichende Ergebnisse, was sich letztlich auch in einer nahezu identischen Bewertung des Gewässers hinsichtlich der ökologischen Zustandsklasse ausdrückt. Er wurde wie in den Vorjahren anhand der Unterwasservegetation vom Fachgutachter mit 4 (unbefriedigend) bewertet.

Dass sich die Zusammensetzung der Unterwasservegetation nicht sofort nach einer internen P-Fällung ändert, hat sich auch schon in anderen restaurierten Seen gezeigt, bei denen trotz niedriger P-Konzentration im Freiwasser die Unterwasservegetation noch weiterhin aus überwiegend nährstoffliebenden Arten bestand, da diese sich über das noch relativ

nährstoffreiche Sediment versorgen (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin 2011).

Fazit

Das Ziel, den guten ökologischen Zustand zu erreichen, ist beim Behlendorfer See trotz der durchgeführten internen Phosphatfällung noch nicht erreicht. Eine messbare Phosphorrücklösung aus dem Sediment wurde zwar zunächst gestoppt. 2011, 2012 und 2013 hielt dieser Zustand an. Zur Bestimmung des ökologischen Zustandes eines Gewässers werden aber die Ergebnisse der einzelnen Lebensgemeinschaften nach dem „worst case Prinzip“ verrechnet, das heißt, dass die am schlechtesten bewertete Organismengruppe das Gesamtergebnis bestimmt. Beim Behlendorfer See wurden die Unterwasserpflanzen aufgrund fehlender, für nährstoffarme Seen typische Arten am schlechtesten bewertet, so dass der ökologische Zustand auch 2014 insgesamt nur mit unbefriedigend (+) bewertet werden konnte (siehe Tabelle 3). Die Tatsache, dass sich nach einer internen P-Fällung die Unterwasservegetation sehr viel langsamer in Richtung guter ökologischer Zustand entwickelt als die freischwebenden Algen, hat sich auch in anderen restaurierten Seen gezeigt. Daher wird sich erst in den nächsten Jahren herausstellen, ob die durchgeführte Seenrestaurierung zum nachhaltigen Erfolg führen wird.

Tabelle 3: Zusammenfassende Bewertung des ökologischen Zustandes des Behlendorfer See 2004, 2010-2014.

	2004	2010	2011	2012	2013	2014
Trophiestufe (LAWA 2014)	eutroph 2	eutroph1	mesotroph	eutroph1	mesotroph	mesotroph
Zustandsklasse Phytoplankton (1-5)	3,4	3,2	2,3	2,1	1,8	2,4
Zustandsklasse Unterwasservegetation (1-5)	5	4	4+	4+	4+	4+
Orientierungswert für Gesamtposphor (2:eingehalten; 3 nicht eingehalten)	3	2	2	2	2	2
Ökologische Zustandsklasse (1-5)	5	4	4+	4+	4+	4+

Die Monitoringergebnisse 2014 und 2015 deuten an, dass es wieder zu einer leichten Phosphatanreicherung in der Tiefe kommt (siehe Abbildung 1). Auch beim Phytoplankton erkennt man schwache Verschlechterungstendenzen. Hier ist es abzuwarten, ob sich ein neues Gleichgewicht einstellt oder ob sich der Trend verstärkt. Auch die Sauerstoffverhältnisse in der Tiefe sind im Auge zu behalten.

Des Weiteren ist es wichtig, mögliche externe Nährstoffpfade weiter im Auge zu behalten. Durch die landwirtschaftliche Beratung im Einzugsgebiet wird möglicherweise eine weitere Reduzierung der Nährstoffeinträge in den See erreicht.

Um die Entwicklung der Tauchblattvegetation hinsichtlich Arteninventar und Abundanzen zu unterstützen bzw. zu verbessern, kann es sinnvoll sein, für einzelne, bislang nur spärlich besiedelte Standorte im Gewässer eine Anpflanzung geeigneter Hydrophytenarten vorzunehmen. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wird diese Maßnahme geprüft.

Weiterhin ist geplant, Anfang Dezember 2016 wiederholt eine Befischung mit drei Netzzügen im Behlendorfer See durchzuführen, um zu überprüfen, inwieweit die Reduzierung der Brasseln 2009 eine nachhaltige Maßnahme war und bei Bedarf weitere Weißfische zu entnehmen.

Literatur

ARP, W., KASTEN, J. & MAIER, G. (2012): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2011.- LLUR Bericht, 1 – 171 + Anhang

ARP, W.; MAIER, G. MICHELS, U. (2015): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2014.- LLUR Bericht, 1 – 200 + Anhang

SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., STELZER, D. & A. VOGEL (2013): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Phylib. (Entwurf Stand November 2013). Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), München.

SENATSWERWALTUNG FÜR GESUNDHEIT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2011): Der Groß Glienicker See; Auf dem Weg zum ökologischen Gleichgewicht.- Berlin 2011

STUHR, J., VAN DE WEYER, K. et. al. (2015): Monitoring der Qualitätskomponente Makrophyten für die WRRL- und FFH-Richtlinie in schleswig-holsteinischen Seen, 2014. Vegetation des Behlendorfer Sees, des Behler Sees, des Dieksees, des Kellersees, des Kleinen Plöner Sees und des Trammer Sees im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume SH.