

Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL)
Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2008 (Konstanz), Hardegsen 2009

Was wäre wenn: Phytoplankton-Bewertung nach EU-WRRL und Klimawandelszenarios

Ute Mischke¹ & Brigitte Nixdorf²

¹ Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Müggelseedamm 310, D - 12587 Berlin, Tel. 030/64181 690, Email: mischke@igb-berlin.de, ² Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Seestraße 45, D-15526 Bad Saarow, Tel. 033631 8943, Email: b.nixdorf@t-online.de

Keywords: Phytoplankton; Seen; Klimawandel; Bewertung; Wasserrahmenrichtlinie

Einleitung

Im Zentrum dieser Arbeit stehen Bioindikatoren, die im begründeten Verdacht stehen, gleichzeitig auf die anthropogenen Belastungen „Eutrophierung“ und „Klimaerwärmung“ zu reagieren. Cyanobacteria werden als Bioindikatoren mit 42 Arten und mittels ihres gesamten Biomasseanteils am Phytoplankton unter weiteren Kenngrößen im neuen deutschen Seebewertungssystem, dem Phyto-See-Index (PSI) zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) genutzt (Mischke et al. 2008). Die meisten Vertreter der Cyanobacteria profitieren in ihrem Wachstum sowohl von einer Erhöhung der Trophie, als auch von erhöhten Wassertemperaturen.

Für die Region Brandenburg wird nach Szenario B des PIC Potsdam mit einem Anstieg der Lufttemperatur um +1,5°C bis 2050 gerechnet (Jacob & Gerstengarbe. 2005). Dies hat eine Verlängerung der Schichtungsperiode (Adrian et al. 1993, Kirillin et al. 2008) in dimiktischen Seen, eine Annäherung der Wassertemperatur an die Optima vieler Arten und eine erhöhte hypolimnische P-Rücklösung (Adrian et al. 1993) zur Folge, was insgesamt einen höheren Trophiestatus der Seen einhergehend mit höheren Phytoplanktonbiomassen erwartet lässt. Es wird postuliert, dass die globale Erwärmung zur Verschiebung der Referenzzönosen („composition metrics“ wie PTSI und Algenklassen-Metrik) und der Biomasseausprägung („biomass metrics“) führt und damit die Bewertungsmatrix angepasst werden müsste.

Um den Effekt der prognostizierten Erhöhung von Cyanobacteria auf die Bewertung mittels Phyto-See-Index zu dokumentieren, wird in diesem Beitrag der Biomasseanteil dieser Gruppe in einem Szenario anhand realer Seendaten künstlich verdoppelt und der Bewertung „ohne potentiellen Klimaeinfluss“ gegenübergestellt.

Ein weiteres Phänomen aufgrund der Klimaerwärmung wird anhand eines Populationsmodells, welches zur Berücksichtigung der Überwinterung mittels Dauerzellen (Akineten) für eine Art der Nostocales (Cyanobacteria) entwickelt wurde, vorausgesagt (Wiedner et al. 2007): Es besagt, dass nostocale Arten mit einem Lebenszyklus bei Klimaerwärmung aufgrund der früheren Keimung höhere sommerliche Biomassen aufbauen werden. Um den Effekt einer Erhöhung der Lufttemperatur im vorausgehenden Winter oder Frühjahr auf die Nostocales in Freilanddaten zu beobachten, werden Langzeitdaten von 35 Seen mit kalten und warmen Jahren (-zeiten) ausgewertet.

Material und Methoden

Es wurden reale Erhebungsdaten der Bundesländer mit mindestens 6 Beprobungsterminen zwischen April und Oktober und guter Bestimmungstiefe des Phytoplanktons aus den Bundesländern Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein aus der nationalen Datenbank „Seen- Phytoplankton“ verwendet, welche im Rahmen von Projekten der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser zur Entwicklung des Bewertungsverfahrens Phyto-See-Index für natürliche Seen des Tieflandes gesammelt wurden.

Szenarioberechnung des ökologischen Zustandes nach PSI

Als reale Erhebungsdaten („Heute“) wurde aus der Seendatenbank je ein Gewässer der Seetypen in Tieflandseen (s. Mischke et al. 2008) mit geringer bis mäßiger Belastung ausgewählt und falls vorhanden, mehrere Seejahre berechnet. Die realen Daten wurden für das Szenario „Szen1“ und „Szen2“ künstlich durch die Verdoppelung der Taxabiovolumina aller Arten der Nostocales bzw. aller Cyanobacteria manipuliert. Für die Berechnung der Bewertung wurde das Auswertungsprogramm PhytoSee (Mischke & Böhmer 2008) benutzt.

Untersuchungsgewässer und Nostocales in kühlen und warmen Jahren

Es wurden Cyanobacteria - Befunde von 35 Tieflandseen ausgewählt, für die mehrere Untersuchungsjahre zwischen 1980 und 2007 und mindestens ein Wertepaar „kaltes Jahr“ und „warmes Jahr“ mit Phytoplanktondaten vorlagen. Die Lufttemperaturmittel wurden für Sommer, Winter und Frühjahr (s. Tab. 1) getrennt aus Wetterdaten (Quelle Monatsmittel: PIC Potsdam Internet) gemittelt. Jedem Seendatensatz wurde der dem Beprobungsdatum entsprechende Monatsmittel der Lufttemperatur zugeordnet und neben dem Jahresmittel auch getrennt für die saisonalen Zeiträume Sommer, Winter und Frühsommer ein Lufttemperaturmittelwert je See errechnet, um spezielle Einflüsse einer Erwärmung in diesen Zeiträumen auf das Phytoplankton zu erkennen.

Anschließend wurde einzeln die Differenz (Wertepaar) zwischen warmen und kalten Jahren (w-k); warmen zu durchschnittlichen (w-d), bzw. durchschnittliche zu kalten (d-k) gebildet. Die verfügbaren Untersuchungsjahre der 35 Seen ermöglichten die Bildung von mindestens 18 und bis zu 30 Wertepaaren je Temperaturdifferenz und Jahreszeit (s. Tab. 2). Manche Seen waren nicht in allen 3 Kategorien (k, d, w) mit Untersuchungsjahren mit Phytoplanktondaten vertreten, aber mindestens in 2 Kategorien.

Tab. 1: Definition der Zeiträume der gewählten 3 Jahreszeiten, Angabe des langjährigen Mittels von 1961-1990 (LM) der Lufttemperatur in diesen Jahreszeiten und Definition der Abweichung vom langjährigen Mittel zur Zuordnung der Untersuchungsdaten zu den Kategorien „kalt“, „durchschnittlich“ und „warm“.

in + °C	gemittelte Zeiträume	(LM) in °C	Zustand k, d und w def. als Abweichung (°C) vom LM			Mittlere Differenz (°C) der Wertepaare im genutzten Datensatz		
			Kalt	durchschnittl.	warm	Diff w-k	Diff w-d	Diff d-k
Sommer	Jul - Okt	14,5	< 0,0	0 - 1,5	>1,5	2,8	1,5	1,3
Winter	Jan - Mrz	1,3	< 0,0	0 - 2,0	>2,0	5,2	1,9	0,7
Frühsommer	Apr - Jun	12,4	< 0,0	0,0 - 1,0	>1	2,4	1,4	1,0
Jahresmittel	Jan-Dez	8,7	< - 0,5	-0,5 - 1,0	>1	2,8	0,9	1,9

Tab. 2: Anzahl an verfügbaren Wertepaaren. Jedes Wertepaar stellt die Differenz von 2 planktologischen Untersuchungsjahren eines Sees mit unterschiedlichen mittleren Lufttemperaturen dar.

Kategorie	Sommer	Winter	Frühsommer
Differenz warm zu kalt	18	27	20
Differenz warm zu durchschnittlich	31	30	31
Differenz durchschnittlich zu kalt	22	30	22

Ergebnisse

Je nach Gewässertyp ist der theoretische, maximale Beitrag der Blaualgen-basierten Bewertungsmetriks für die Gesamtbewertung nach dem Phyto-Seen-Index 33% bis 44% (Tab.3), da die Biomasse-Bewertung und andere Taxa zumeist ein hohes Gewicht in der Bewertung haben. Da nie alle Indikatorarten im PTSI allein durch die Cyanobacteria gestellt werden, ist das Gewicht im Phyto-See-Index nach WRRL zumeist kleiner als ein Drittel.

Tab. 3: Prozentualer Beitrag der Bewertungsmetriks „Biomasse“, „Algenklasse“ und „Phyto-Taxa-Seen-Index(PTSI)“ und Einzelkenngrößen wie eine Indikatorart oder die Bewertung nur mittels der Cyanobacteria zum gesamten Phyto-See-Index (PSI) je nach Gewässertyp (Spalte 1; 10 und 13 = geschichtete Seen; 11 = polymiktische Seen). Alle Details zur PSI-Bewertung in Mischke et al. 2008.

See Typ_Nr	Biomasse	Algen- klasse	PTSI	1 Indikator- taxon, wenn N = 12	Cyano- Bewertung	Dino_Cyan- Bewertung
10.1+10.2	33	33	33	3		11
13	57	14	29	2		4,8
11.1	57	14	29	2	14	
11.2	57	29	14	1	7	

Tab. 4: Resultierende Bewertungsklasse durch den Phyto-See-Index (PSI) der Originaldaten und der Szenarios bei Verdoppelung des Nostocales (Szen 1) bzw. des Cyanobacteria- Anteils (Szen 2).

See- Typ Nr	Seename	Jahr	Chla µg/l	BV [mm ³ /l]	Szen 1	Szen 2	Bewertungsklasse PSI		
					Nosto- cales 2x. Biovol. + %	Cyano 2x. Biovol. + %	Original Gesamt- klasse	Szen 1 Nosto- cales 2x	Szen 2 Cyano 2x
13	Wittwensee	2005	2,4	1,4	1,3	16,3	sehr gut	sehr gut	sehr gut
13	Wittwensee	2007	4,6	2,4	1,3	18,8	Gut	gut	gut
14	Tietzensee	2005	4,8	2,1	0,6	0,6	sehr gut	sehr gut	sehr gut
13	Großer Plö	2006	7,4	1,5	0,9	2,2	M _[M1] äßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	2001	8,8	1,7	2,3	4,4	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	2005	9,1	1,1	4,4	5,9	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	2007	9,5	1,4	4,6	5,5	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	1998	12,0	2,6	6,1	8,2	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	1999	12,3	3,0	1,0	2,3	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Großer Plö	2000	13,6	3,2	1,4	3,3	Mäßig	mäßig	mäßig
13	Mahlgastsee	2006	20,6	2,6	10,8	47,3	unbefried.	unbefried.	unbefried.
11.1	Beutelsee	2006	22,8	11,1	0,5	65,0	unbefried.	unbefried.	unbefried.
10.1	Glind. See	2006	25,1	4,1	41,8	42,9	mäßig	unbefried.	unbefried.
12	Werd Havel	2006	38,5	4,2	13,9	14,6	Mäßig	mäßig	Mäßig
11.2	Wublitz	2006	70,8	11,2	24,8	25,7	unbefried.	unbefried.	unbefried.

Die Szenario-Ergebnisse der ökologischen Bewertungsklasse mittels des Phyto-Seen-Indexes mit und ohne Verdoppelung des Blaualgenanteils sind bis auf eine Ausnahme identisch zu den Originaldaten (Tab. 4), unabhängig davon, ob die Cyanobacteria überwiegend von Nostocales gebildet werden und ob der prozentuale Anteil 0,3% oder 20% am Gesamtbiovolumen ausmachte.

Beobachtete Anteile der Nostocales am Gesamtbiovolumen in kühlen und warmen Jahren

Im Beobachtungszeitraum von 1980-2007, aus dem die Phytoplanktondaten stammen, ist ein Lufttemperaturanstieg im Vergleich zum langjährigen Mittel (1961-1990) im Jahresmittel von +0,7 °C, in der Winterperiode (Jan-Mrz) von + 0,91 °C und in der Sommerperiode (Jul-Okt = PSI- Bewertungszeitraum Cyano) von + 0,60 °C zu beobachten. Deshalb ließen sich Untersuchungsjahre mit unterschiedlichen Temperaturbedingungen selektieren, wobei die 27 Differenzen zwischen den „warmen“ und „kalten“ Wintern mit durchschnittlich 5,2°C am höchsten waren (s. Tab. 1, Spalte 7). Auch wenn die Differenzen im Frühsommer (April-Juni) zur potentiellen Keimungszeit der Nostocales mit durchschnittlich 2,4 °C und im Sommer mit 2,8 °C (s. Tab. 1) dagegen nur moderate ausfielen, überstieg ihr mittlerer Differenz deutlich das Klimawandelszenario B (+1,5 °C).

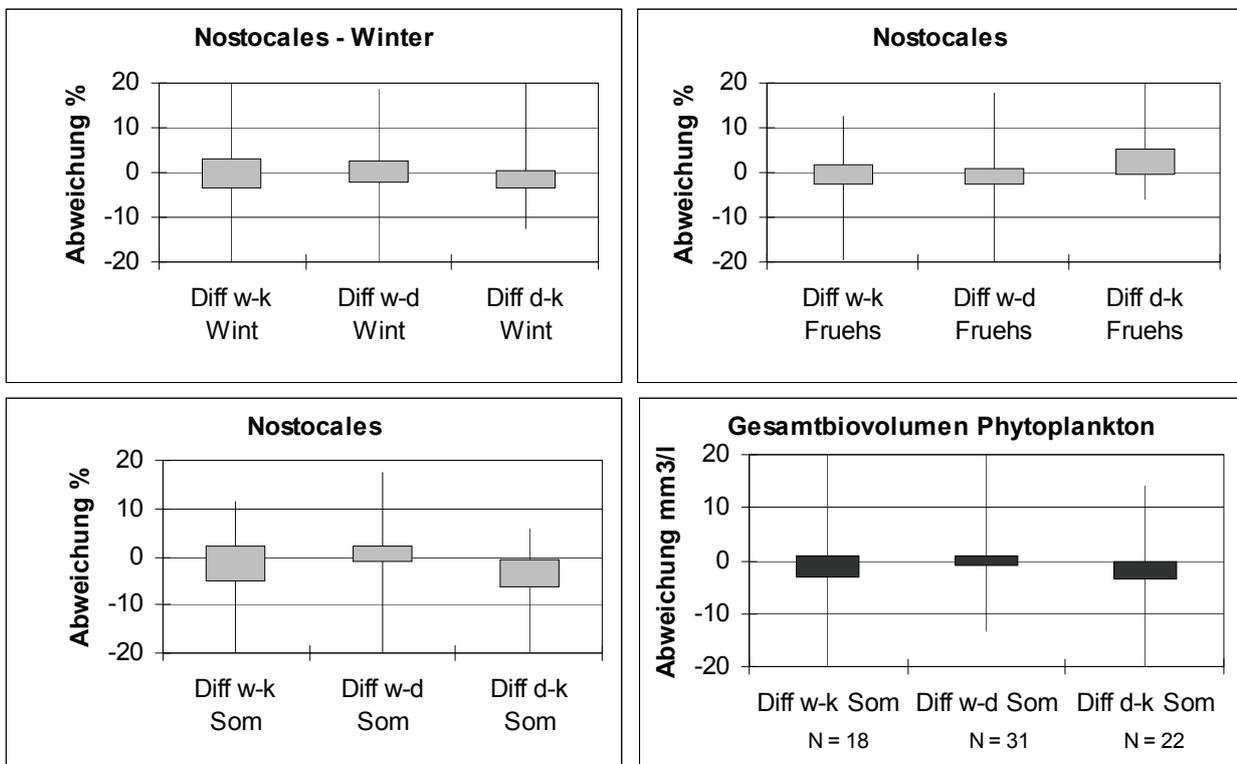


Abb. 1: Boxplot-Darstellung der Abweichungen der Biomasseanteile der Nostocales in wärmen Beobachtungsjahren von kälteren Jahren (Diff w-k; etc. in Methoden) sowie die Verteilung des Gesamtbiovolumens des Phytoplanktons (unten rechts).

Ausgehend von den erheblichen Temperaturunterschieden im verfügbaren Langzeitdatensatz der 35 Seen kann deshalb nach den in der Einleitung formulierten Hypothesen erwartet werden, dass die Cyanobacteria in warmen Sommern, oder nach warmen Wintern und Frühsommern einen erhöhten Anteil der Biomasse ausmachen als in kalten Jahren. Die um durchschnittlich 5,2°C höhere Wintertemperatur bewirkte mit Ausnahme einer geringfügigen Zunahme der Oscillatoriales (Diff d-k) keine signifikante Zunahme der Cyanobacteria (s. Tab 5). Der prozentuale Anteil der Nostocales war im Median weder in warmen noch in durchschnittlichen Jahren gegenüber den kalten Jahren erhöht, unabhängig davon, ob die Winter-, Frühsommer oder Sommerabweichung betrachtet wurde (s. Abb. 1), mit Ausnahme der Zunahme der Nostocales (Diff d-k) in durchschnittlichen gegenüber

kalten Fröhsommern (Mittel um 1 °C höhere Lufttemperatur). Sommer mit höheren Temperaturen hatten keinen Effekt auf den Anteil der Cyanobacteria und auch nicht auf das Gesamtbiovolumen des Phytoplanktons (s. Abb. 1 unten).

Tab. 5: Mediane und 75% Perzentile der Differenzen der Biomasseanteile der Algenordnungen der Cyanobacteria von wärmen Beobachtungsjahren gegenüber kälteren Jahren (s. Methoden).

Algenordnung:	Chroococcales		Nostocales		Oscillatoriales		N Jahrespaare
	Median	75% Perz	Median	75% Perz	Median	75% Perz	
Diff w-k Winter	-0,4	2,9	-0,4	3,1	0,0	5,8	27
Diff w-d Winter	0,3	2,4	-0,1	2,7	-0,1	3,3	30
Diff d-k Winter	0,0	1,6	-0,8	0,4	0,8	5,2	30
Diff w-k Fruehs.	1,1	11,3	0,2	1,9	0,0	3,2	20
Diff w-d Fruehs.	0,0	0,4	-0,2	1,1	0,0	2,9	31
Diff d-k Fruehs.	1,2	4,5	0,8	5,4	0,2	2,0	22
Diff w-k Sommer	0,7	3,5	-2,0	2,1	-2,8	1,8	18
Diff w-d Sommer	0,0	1,0	0,4	2,1	-1,6	0,0	31
Diff d-k Sommer	2,7	4,9	-1,7	-0,5	-1,0	1,1	22

Zusammenfassung/Schlussfolgerungen

Die temperatur-sensitiven Bioindikatoren beeinflussen das Gesamtergebnis des Phyto-See-Index aufgrund der Gewichtung weiterer Kenngrößen nur zu maximal einem Drittel. Deshalb verursacht eine Verdoppelung ihres Anteils nur selten eine Veränderung der Qualitätsklasse nach WRRL. Jahre (-zeiten) mit ungewöhnlich hohen Lufttemperaturen (>+2°C) bewirkten in den 35 langjährig untersuchten Tieflandseen zumeist keine signifikante Erhöhung des Anteils der Nostocales oder des Gesamtbiovolumens. Während in einigen Seen ein solcher Trend zu beobachtet war, wurde dies durch den gegenläufigen Trend in anderen Seen aufgehoben, sodass die Mediane sich nicht signifikant unterscheiden. Als Fazit ist deshalb zu erwarten, dass die Nostocales und die Cyanobacteria im Rahmen eines mittleren Klimaerwärmungsszenarios nicht entscheidend die aktuell vorliegende Bewertung nach WRRL verändern.

Die Auswertungen sind als vorläufig zu betrachten, da Einflüsse durch Sanierungsmaßnahmen noch nicht berücksichtigt wurden, die eine Verminderung des trophischen Zustandes bewirkten.

Diese Untersuchung entstand im Rahmen des Projektes LAWA O 9.08. Besonderer Dank gilt den Bundeslandvertretern im LAWA AK „Biologische Seebewertung“ für die Bereitstellung der Daten.

Literatur

- Adrian, R., R. Deneke, U. Mischke, R. Stellmacher, & P. Lederer (1995): A long-term study of the Heiligensee (1975-1992). Evidence for effects of climatic change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems. *Archiv für Hydrobiologie* 133(3): 315-337
- Jacob, D., and F.-W. Gerstengarbe. 2005. Klimaszenarien für den deutschen Teil des Elbe-Einzugsgebietes. Pages 85-118 in F. Wechsung, A. Becker, and P. Gräfe editors. *Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet*. Weissensee, Berlin
- Kirillin, G. & S. Golosov (2008): Shallow Lake Response to Climate Change: the Role of the Heat Storage by Sediments. Poster ASLO meeting 2008.
- Mischke, U., Riedmüller, U., Hoehn, E. & B. Nixdorf (2008): Praxistest zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons gemäß EU-WRRL. Endbericht zum LAWA-Projekt (O 5.05). In: Mischke & Nixdorf (Hrsg.), *BTUC-AR 2/2008*, ISBN 978-3-940471-06-2, Eigenverlag BTU Cottbus, 7-115.
- Wiedner, C., J. Rücker, R. Brüggemann, & B. Nixdorf (2007): Climate change affects timing and size of populations of an invasive cyanobacterium in temperate regions. *Oecologia* 152: 473-484