

Limnologische Untersuchungen des Caputher Sees 2017

**Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons sowie wichtiger limnochemischer
Gewässerparameter vom August, September und Oktober 2017**

Im Auftrag der
Gemeinde Schwielowsee

Ansprechpartnerin:
Frau Simon



Berlin, Dezember 2017

Beteiligte Personen und Institutionen:

Auftraggeber:

Gemeinde Schwielowsee
Potsdamer Platz 9 ·
14548 Schwielowsee

Auftragnehmer:

Bernd Koppelmeyer (*enviteam*) & Dr. Wolfgang Arp (*LimPlan*)

Plankton:

Dr. Wolfgang Arp (*LimPlan*): Phytoplankton
apl. Prof. Dr. Gerhard Maier (Büro für Gewässerökologie): Zooplankton

Vor Ort Messungen, Probenahme:

Dr. Kerstin Wöbbecke, Bernd Koppelmeyer, (*enviteam*)
Dr. Wolfgang Arp (*LimPlan*)

Limnochemische Analysen:

PWU Potsdamer Wasser- und Umweltlabor GmbH & Co. KG

Bericht:

Dr. Kerstin Wöbbecke (*enviteam*)
Dr. Wolfgang Arp (*LimPlan*)
apl. Prof. Dr. Gerhard Maier (Büro für Gewässerökologie)

Foto Titelseite:

Caputher See, südliche Bucht, August 2016

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
1 Zusammenfassung	5
2 Anlass und Zielsetzung	6
3 Untersuchungsgebiet und Untersuchungen	7
3.1 Untersuchungsgebiet	7
3.2 Untersuchungen im Jahr 2017	7
4 Ergebnisse	8
4.1 Feldmessungen.....	8
4.2 Nährstoffe.....	8
4.3 Plankton	9
4.3.1 Phytoplankton und Chlorophyll a.....	9
4.3.2 Zooplankton.....	10
5 Diskussion.....	13
5.1 Bewertung des gegenwärtigen Zustands und der Veränderungen.....	13
5.2 Mögliche Gründe für den Anstieg des Gesamtphosphors.....	20
6 Anhang.....	22
6.1 Quellenverzeichnis.....	22
6.1.1 Publikationen und Berichte	22
6.1.2 Verwendete Bestimmungsliteratur	24
6.2 Methoden.....	28
6.2.1 Feldmethoden	28
6.2.2 Limnochemische Analysen	28
6.2.3 Phytoplankton.....	29
6.2.4 Zooplankton.....	30
6.3 Artenliste Phyto- und Zooplankton	34
6.4 Vergleich trophischer Parameter von 2012 sowie 2014 bis 2017	36

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ergebnisse der limnochemischen Analysen der Wasserproben vom Caputher See vom Juni, Juli, September und Oktober 2017 und Mittelwert (MW)	9
Tab. 2:	Großgruppenzusammensetzung des Phytoplanktons (Biovolumen) und Chlorophyll a im Caputher See von Juni bis Oktober 2017.	10
Tab. 3:	Labormethoden	29
Tab. 4:	Vergleich der TP-, Chl.a- und Min- und Max.-Biovolumens-Einzelwerte aus ähnlichen Zeiträumen 2012, sowie 2014 bis 2017 für den Caputher See.....	36

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Trockenmasse der taxonomischen Großgruppen des Metazooplanktons im Caputher See 2017.....	11
Abb. 2:	Größenindex (GIC) der Wasserflöhe (Cladoceren) im Caputher See 2017.	12
Abb. 3:	Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und Monatssummen der Niederschläge an der Wetterstation Potsdam, Daten Dezember: unvollständig (bis 15.12.)	13
Abb. 4:	Langjährige Entwicklung der Wassertemperatur und der Sauerstoffsättigung im Oberflächen- und im Tiefenwasser sowie der Mächtigkeit der sauerstofffreien Zone an der tiefsten Stelle im Caputher See.....	14
Abb. 5:	Langjährige Entwicklung der Nährstoffe sowie von Chlorophyll und Sichttiefe in der euphotischen Zone an der tiefsten Stelle im Caputher See.	15
Abb. 6:	Phytoplankton-Großgruppen und Chlorophyll a im Caputher See 2012 - 2017.	17
Abb. 7:	Biomassenverteilung des Zooplanktons in den Jahren 2014 bis 2017 im Caputher See.	19
Abb. 8:	Größenindex der Cladoceren. Rote Linie markiert die Masse einer 1 mm langen Daphnie. Jahre 2014 bis 2017 im Caputher See.	19
Abb. 9:	Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse auf Biovolumen-Basis. Jahre 2014 bis 2017 im Caputher See.....	19
Abb. 10:	Anteile der Daphnien an der Gesamtmasse (Trockengewicht) der Wasserflöhe (Cladoceren) (in %) 2014 bis 2017 im Caputher See.....	20
Abb. 11:	Bestand der Büschelmücken im Caputher See 2014 bis 2017.	20
Abb. 12:	Lufttemperatur in Potsdam 2009 bis 2017 (Quelle: DWD).....	21

1 Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung an vier Terminen im Sommer und Herbst 2017 sollte die weitere trophische Entwicklung des bereits langjährig untersuchten Caputher Sees dokumentieren und dabei mögliche Auswirkungen der Abfischung von Gras- und Marmorkarpfen aufzeigen, sowie klären, ob weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Zustands notwendig sind.

Bereits 2016 war eine deutliche Zunahme der Gesamtphosphorkonzentrationen sowohl im Oberflächenwasser als auch im Tiefenwasser festgestellt worden. 2017 blieb der Gesamtphosphor im Oberflächenwasser auf ähnlich hohem Niveau, Tiefenwasserproben wurden nicht entnommen. Die stärkeren Schwankungen bei den Messungen könnten wegen der geringen Beprobungsdichte beider Jahre zufällig bedingt sein. Ähnlich wie 2016 gab es auch 2017 eine etwa verlängerte Schichtungsphase und einen stärker ausgeprägten Sauerstoffmangel im Hypolimnion als in den Jahren vor 2016, so dass zu vermuten ist, dass die hohen Phosphorwerte keine einmalige Erscheinung bleiben werden.

Die höheren Phosphorwerte spiegelten sich nur in Teilen in höheren Chlorophyllkonzentrationen bzw. Phytoplankton-Biovolumina wider. Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons war im Vergleich zu den Vorjahren nahezu gleich. Auch beim Zooplankton ist für 2017 keine eindeutige Veränderung zu den letzten Jahren erkennbar. Der Umsatz von Phyto- in Zooplanktonbiomasse ist weiterhin gering, eine positive Auswirkung der Befischung ist noch nicht erkennbar.

2 Anlass und Zielsetzung

Der Caputher See ist ein seit Jahrzehnten eutrophierter Flachsee, der in den letzten Jahren immer wieder limnologisch mit unterschiedlicher Intensität untersucht wurde. Zum einen wird der See seit 2009 im dreijährigen Rhythmus limnochemisch (ab 2012 auch planktologisch; ARP, KOPPELMEYER & WÖBBECKE 2013) vom Landesamt für Umwelt in Potsdam untersucht, zuletzt 2015 (ARP et al. 2016). Zum anderen wurden in den letzten Jahren limnologische Kurzgutachten mit zwei bis drei Probenahmen durchgeführt, im Herbst 2014 im Auftrag des Caputher Sees e.V. (ARP et al. 2014) und 2016 im Auftrag der Gemeinde Schwielowsee (WÖBBECKE et al. 2016).

Das Ergebnis aller oben genannten Untersuchungen ergab im Freiwasser bislang eine hohe Trophie (eutroph 2 bis polytroph 1), mit starker Phytoplanktontrübe (Sichttiefe im Mittel < 1 m) und deutlicher Dominanz von fädigen Blaualgen im Sommer und Herbst.

In den letzten Jahren gibt es Anstrengungen durch den Verein Caputher Sees e.V., die Qualität des Sees durch gezielte Maßnahmen zu verbessern. Dazu zählt insbesondere die Entnahme vor allem von 585 Silber- und 131 Marmorkarpfen in den Jahren 2014-2017, mit einem entnommenen Gesamtgewicht von etwa 7 t Fischbiomasse (www.caputhersee.de). Die Entnahme soll u.a. dazu führen, das Zooplankton zu stärken, um einen erhöhten Fraßdruck auf das Phytoplankton auszuüben. Beide Karpfenarten, auch die überwiegend phytoplanktonfressenden Silberkarpfen, fressen Zooplankton (KLAPPER 1992). Ihre Entnahme ist gleichzeitig eine Nährstoffreduzierung im See.

Vor diesem Hintergrund wurden im Sommer/Herbst 2017 an vier Terminen vor Ort-Messungen und Nährstoff- und Planktonanalysen durchgeführt, um zu prüfen, ob aktuell ökologische Veränderungen im See zu beobachten sind.

Alle erhobenen Daten 2017 werden aufgelistet und zusammen mit Altdaten bewertet.

3 Untersuchungsgebiet und Untersuchungen

3.1 Untersuchungsgebiet

Der Caputher See liegt südlich des Templiner Sees in einer eiszeitlichen Nebenrinne der Havelseenkette. Er hat eine annähernd dreieckige Seefläche von 49,6 ha. Bei einer mittleren Tiefe von 3,4 m ist er in weiten Bereichen recht flach und hier dementsprechend ohne stabile sommerliche Temperaturschichtung. Die tiefste Stelle von 9,2 m liegt in der Nordspitze und weist in der Regel von April/Mai bis September eine stabile Temperaturschichtung auf, wobei das Hypolimnion allerdings nur eine geringe Mächtigkeit besitzt und in dieser Zeit sauerstofffrei ist (ARP et al. 2016). Bereits in den 1990er Jahren wurde der Caputher See polytroph 1 (Stufe 5 auf der siebenstufigen Skala der Trophie nach LAWA 1999) klassifiziert (MIETZ et al. 1996 und 1997).

Der See erhält im Süden zwei kleine Zuflüsse aus dem umliegenden bewaldeten Gebiet. Einer davon verbindet ihn über das Wurzelfenn mit dem Großen Lienewitzsee. Im Norden entwässert der Abfluss über den Templiner See in die Havel. Abfluss und Zuflüsse führten in den vergangenen Jahren jedoch meist kein Wasser, so dass der Caputher See gegenwärtig fast ausschließlich Grundwasser-gespeist ist. Etwa zwei Drittel des Sees gehören zum NSG „Lienewitz-Caputher Seen- und Feuchtgebietskette“¹.

Der potentiell natürliche Trophiezustand (LAWA 1999) des Caputhers Sees, der anhand der gegebenen Rahmenbedingungen den optimal erreichbaren Trophiestatus beschreibt, ist mesotroph (Stufe 2 der siebenstufigen Skala). Der in den letzten Jahren ermittelte Trophie-Index liegt somit seit Jahrzehnten 2-3 Stufen höher.

3.2 Untersuchungen im Jahr 2017

Im Rahmen dieses Projekts wurden am Caputher See an vier Terminen, dem **15.06.2017**, **27.07.2017**, **26.09.2017** und **26.10.2017**, an der tiefsten Stelle des Sees die Sichttiefe gemessen und Profile für Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, Leitfähigkeit und Redoxpotential aufgenommen. Für die Phyto- und Zooplanktonanalyse sowie für die Limnochemie wurden Proben entnommen.

Für die limnochemische Analyse wurden in Anlehnung an die Vorgaben des LUGV Mischproben über die 2,5fache Sichttiefe hergestellt und im Labor auf die Photopigmente Chlorophyll a und Phaeophytin, Nährstoffe und Nährstofffraktionen (Gesamt-Phosphor, Phosphat, Gesamt-Stickstoff, Nitrat, Ammonium) analysiert.

Für die Phytoplanktonanalyse wurde eine Probe aus der Mischprobe entnommen und quantitativ und qualitativ mikroskopisch analysiert. Die Zooplanktonprobe wurde durch einen Vertikalzug über eine definierte Wassersäule hergestellt und ebenfalls qualitativ und quantitativ mikroskopisch untersucht.

Näheres zur Methodik der Probenahme sowie der limnochemischen und der Plankton-Analytik s. Kap. 5.2 im Anhang.

¹ Verordnung über das NSG „Lienewitz-Caputher Seen- und Feuchtgebietskette“ vom 10. Juni 2002, (GVBl.II/02, [Nr. 20], S.449)

4 Ergebnisse

4.1 Feldmessungen

Der Caputher See wies an allen vier Terminen sehr ähnliche geringe Sichttiefen auf (0,75 – 0,8 m, Tab. 1).

Während der sommerlichen Temperaturschichtung lag die Sprungschicht am **15.06.** bei 3 m, am **29.07.** zwischen 4 und 5 m. Am **29.09.** hatte sich die Sprungschicht auf 7 m abgesenkt, am **26.10.2017** war sie fast vollständig aufgelöst.

Am **15.06.2017** war bereits das gesamte Hypolimnion sauerstofffrei, während im Epilimnion mit 131 % eine recht hohe Übersättigung gemessen wurde. Das Redoxpotential erreichte im Hypolimnion mit einem Minimalwert von -85 mV deutlich negative Werte. Das Redoxpotential kann einen Anhaltspunkt für die Möglichkeit von Phosphorrücklösung aus dem Sediment bieten, da unter bestimmten Voraussetzungen Eisenverbindungen und damit auch der an Eisen gebundene Phosphor schon ab einem Redoxpotential von unter 200 mV in Lösung gehen können (SCHWOERBEL 1999).

Am **29.07.2017** herrschte mit Sauerstoffsättigungen unter 70 % auch im Epilimnion Untersättigung, im Metalimnion setzte bereits eine starke Zehrung ein. Das Redoxpotential über Grund war jedoch nur wenig weiter abgefallen (Minimum -91 mV).

Am **26.09.2017** hatte die Einmischung von sauerstofffreiem Tiefenwasser zu starker Untersättigung ab 6 m geführt, während in den oberen Wasserschichten wieder leichte Übersättigung gemessen wurde. Das Redoxpotential über Grund lag nahezu unverändert bei -88 mV.

Vier Wochen später, am **26.10.2017** war zwar der Temperaturgradient weitestgehend aufgelöst, ein Sauerstoffabfall, besonders ab 7 m, war aber immer noch zu beobachten, wobei auch in den oberen Wasserschichten Untersättigung herrschte.

Die Sauerstoffmessungen 2017 zeigten erneut die unvermindert intensiven Produktions- und Respirationsprozesse im Caputher See.

Die pH-Werte lagen an allen vier Beprobungstagen im Epilimnion zwischen 7,9 und 8,9, im Tiefenwasser fielen sie auch bei starker Zehrung nicht unter 7.

Die Elektrische Leitfähigkeit lag im Oberflächenwasser zwischen 378 und 387, über Grund bei maximal 566 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2 Nährstoffe

Die Ergebnisse der limnochemischen Analysen der an der tiefsten Stelle entnommenen Proben sind in Tab. 1 dargestellt.

Wie bereits 2016 waren die gemessenen Gesamtphosphor-Konzentrationen 2017 mit Werten zwischen 0,042 und 0,124 mg/l höher als in den Jahren davor, wobei jedoch wie in der Vergangenheit der anorganisch gelöste Phosphor stets nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden war. Die Schwankungen waren recht groß.

Trotz dieser deutlich höheren Phosphorwerte lagen die Sichttiefen weiterhin recht konstant bei 0,75 m. Die Chlorophyllkonzentrationen stiegen Ende September auf 79 µg/l und blieben noch Ende Oktober hoch (Näheres s. Kap. 4.3.1).

Die Gesamtstickstoffkonzentrationen bewegten sich in der euphotischen Zone mit Werten zwischen 1,3 und 1,8 mg/l in einer ähnlichen Größenordnung wie in den vergangenen Jahren. Auffällig waren die an zwei Terminen erhöhten Nitratkonzentrationen (0,71 und 0,93 mg N/l). Ammonium erreichte Ende Oktober mit 0,31 einen leicht erhöhten Wert in der euphotischen Zone.

Tab. 1: Ergebnisse der limnochemischen Analysen der Wasserproben vom Caputher See vom Juni, Juli, September und Oktober 2017 und Mittelwert (MW)

Mischproben der euphotische Zone an der tiefsten Stelle. (Chl a = Chlorophyll a, Phae = Phaeophytin, TP = Gesamt-Phosphor, PO₄-P= Phosphat-Phosphor, TNb = Gesamt-Stickstoff, NH₄-N = Ammonium-Stickstoff, NO₃-N = Nitrat-Stickstoff)

Datum	15.06.2017	27.07.2017	26.09.2017	26.10.2017	MW
Sichttiefe, m	0,60	0,75	0,75	0,75	0,71
Mischprobe aus (m):	0 - 1,5	0 - 2	0 - 2	0 - 2	-
Chl a, µg/l	36	42	79	77	58
Phaeo, µg/l	10,6	13	13	8,3	11,3
TP, mg/l	0,042	0,120	0,124	0,049	0,084
PO ₄ -P, mg/l	0,003	0,047	0,003	0,003	0,014
TNb, mg/l	1,5	2,0	1,89	1,57	1,75
NO ₃ -N, mg/l	0,068	0,710	0,005	0,930	0,428
NH ₄ -N, mg/l	0,031	0,040	0,089	0,31	0,118

4.3 Plankton

4.3.1 Phytoplankton und Chlorophyll a

Im Caputher See wurden in den vier Proben 2017 insgesamt 35 verschiedene Phytoplankton-Taxa ermittelt, wobei Blaualgen (Cyanobacteria) die meisten Taxa aufwiesen (siehe Anhang Kap. 6.2.5). Es wurden je Probe im Mittel 24 Taxa gefunden.

Im gesamten Untersuchungszeitraum wurden hohe Algenbiomassen ermittelt. Bezüglich der Algenklassen wurde wie zur gleichen Zeit der Vorjahre eine sehr deutliche Dominanz von fädigen Oscillatoriales aus der Gruppe der Blaualgen (Cyanobakterien) ermittelt. Daneben traten vor allem Schlundalgen (Cryptophyceen) und Hornalgen (Dinophyceen) subdominant hervor. Das Gesamtbiovolumen lag im Größenbereich 7,2 – 12,5 mm³/l (Mittel: 9,8 mm³/l). Der Chlorophyll-a-Gehalt lag im Bereich 36 bis 79 µg/l (Mittel: 58,2 µg/l) (Tab. 2, siehe auch Abb. 6 in Kap. 5.1).

Mitte Juni 2017 lag der Anteil der Cyanobakterien bereits bei 88 %. Hauptvertreter waren *Pseudanabaena limnetica* (49 % Anteil an der Gesamtbiomasse) aus der Gruppe der Oscillatoriales und *Aphanizomenon gracile* (28 %) aus der Gruppe der Nostocales.

6 Wochen später **Ende Juli** war der Blaualgenanteil ähnlich hoch (81 %), wobei die Oscillatoriales nun durch die ebenfalls feinfädige Art *Limnothrix planctonica* geprägt waren (61 % Anteil). Die im Juni dominante Art *Pseudanabaena limnetica* wies noch einen Anteil von 14 % auf.

Im Frühherbst **Ende September** blieben beide genannten Arten der Oscillatoriales stark vertreten, während nun auch Schlundalgen mit dem Hauptvertreter *Cryptomonas* (20 % Anteil) hinzutrat. Schlundalgen sind als Flagellaten mobil und zudem potentiell mixotroph, somit sehr anpassungsfähig. Der Anteil der Blaualgen an der Gesamtbiomasse lag nun bei 66 %.

Zum Ende des Untersuchungszeitraums **Ende Oktober 2017** wies *Cryptomonas* noch einen Anteil von 9 % auf. Hauptart war nun erneut wie im Juni *Pseudanabaena limnetica* mit 73 % Anteil an der Gesamtbiomasse. Der Blaualgen-Anteil an der Gesamtbiomasse lag erneut über 80 % (83 %).

Tab. 2: Großgruppenzusammensetzung des Phytoplanktons (Biovolumen) und Chlorophyll a im Caputher See von Juni bis Oktober 2017.
(Mischprobe aus der euphotischen Zone; vgl. Tab. 1)

Datum	Bacillario- phyceae (mm3/l)	Chloro- phyceae (mm3/l)	Chryso- phyceae (mm3/l)	Crypto- phyceae (mm3/l)	Cyano- bacteria (mm3/l)	Dino- phyceae (mm3/l)	Eugleno- phyceae (mm3/l)	Gesamt- BV (mm3/l)	Chl.a (µg/l)
15.06.17	0,076	0,055	0,013	0,305	10,93	0,956	0,157	12,5	35,6
27.07.17	0,051	0,032		0,814	5,812	0,264	0,193	7,17	41,6
26.09.17	0,034	0,140		1,977	6,417	0,940	0,169	9,68	78,6
26.10.17	0,059	0,135		1,105	8,315	0,256	0,156	10,0	76,8

4.3.2 Zooplankton

Der Caputher See ist auch im Jahr 2017 mit insgesamt 33 Metazooplanktontaxa (20 Arten Rädertiere, 7 Arten Wasserflöhe, 6 Arten Ruderfußkrebse) hinsichtlich des Artenreichtums als niedrig bis allenfalls moderat zu bezeichnen. Taxonomische Besonderheiten waren nicht erkennbar. Zu erwähnen ist allerdings die deutliche Präsenz einiger Eutrophierungszeiger, wie *Brachionus*- Arten (aktuell z.B. *B. quadridentatus*) bei den Rädertieren oder *Cyclops vicinus* bei den Ruderfußkrebsen, die allerdings nicht aspektbestimmend auftraten. Unter der Kategorie „Sonstige“ waren Larven der Dreikantmuschel sowie Büschelmücken-Larven vorhanden. Vagile Ciliaten sind in 3 der 4 Proben vorhanden, fallen aber nur bei der ersten Probenahme im Juni auf.

Bei den **Rädertieren (Rotatoria)** dominierten im Juni und Juli Flossenrädertiere (überwiegend *Polyarthra vulgaris* - Morphen). Insgesamt vergleichsweise stark vertreten sind *Filinia longiseta* (Juni bis September), die von einer Gallerthülle umgebenen Rädertiere der Gattung *Collotheca* (Juni und September), *Anuraeopsis fissa* (Juli, September) sowie Nahrungsspezialisten der Gattung *Ascomorpha* (*A. ecaudis*; Oktober). Bei den **Wasserflöhen (Cladoceren)** waren in den ersten 3 Proben die *Ceriodaphnien* dominant. An effektiven Filtrierern war *Daphnia cucullata* im Juni, Juli und wieder im September deutlich präsent und bei den Ruderfußkrebsen

(Copepoda) bestimmten die kleinen cyclopoiden Taxa *Diacyclops* cf. *bicuspidatus*, *Mesocyclops leuckarti* und *Thermocyclops oithonoides* das Bild. Calanoide Ruderfußkrebse waren praktisch nicht vorhanden. Bereits bei den Abundanzen wird klar, dass das Zooplankton relativ individuenarm ist. Beispielsweise erreichen die Rädertiere im Mittel nur ca. 300 Ind. / Liter, die Wasserflöhe bleiben ≤ 8 Ind. / Liter, die omnivoren bis räuberisch lebenden cyclopoiden Ruderfußkrebse im Mittel bei < 30 Ind. / Liter.

Die **Biomasse** des gesamten Zooplanktons lag im Mittel (Median der 4 Sommer-/Herbstwerte) bei nur 82 (maximal 148) $\mu\text{g TM/L}$. Stark vertreten sind die cyclopoiden Ruderfußkrebse. Die Rädertiere stellen im September immerhin $>30\%$ der Biomasse, bleiben aber sonst unter 5% . Die Wasserflöhe sind im Juni (im Bereich des Klarwasserstadiums) am stärksten vertreten (Abb. 1). Herbivore calanoide Ruderfußkrebse fehlen praktisch völlig. Die Kategorie „Sonstige“ (mit Larven der Dreikantmuscheln und insbesondere der Büschelmückenlarven), die 2016 stark vertreten waren sind im aktuellen Jahr nur schwach präsent. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass etwa Büschelmückenlarven nur bei Nachtfängen halbwegs quantitativ erfasst werden, da sie ausgedehnte vertikale Tag-Nacht-Wanderungen durchführen und tagsüber bodennah vorkommen. Die Erfassung der Büschelmücken-Larven bei Tagfängen ist mehr oder weniger von der Tageszeit der Probenahme abhängig.

Der **Größenindex** der Wasserflöhe (Cladoceren) wird als Indikator für den Fraßdruck durch Fische verwendet. Cladoceren reagieren auf Grund ihres hohen Vermehrungspotentials besonders schnell auf Umweltveränderungen. Sie spielen als Beute- und Nährtiere von Fischen und als effektivste herbivore Konsumenten des Phytoplanktons eine zentrale Rolle im planktischen Nahrungsnetz der Seen. Der Größenindex der Wasserflöhe lag bei allen drei Messungen bei niedrigen Werten $\leq 4 \mu\text{g/Individuum}$ (Abb. 2), was bedeutet, dass die wichtigsten Filtrierer, die Wasserflöhe, aus kleinen Arten zusammengesetzt sind. Zum Vergleich: Die Biomasse eine 1 mm langen Daphnie liegt bei $6 \mu\text{g / Ind.}$ (siehe auch Abb. 8).

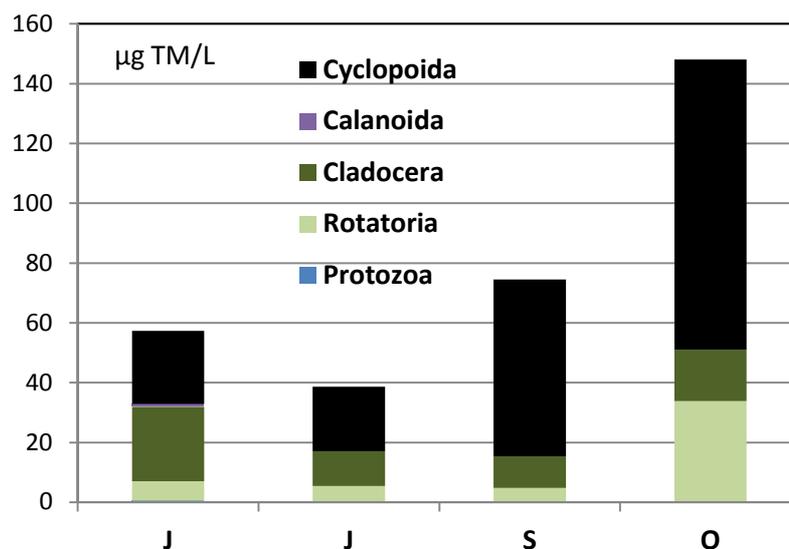


Abb. 1: Trockenmasse der taxonomischen Großgruppen des Metazooplanktons im Caputher See 2017.

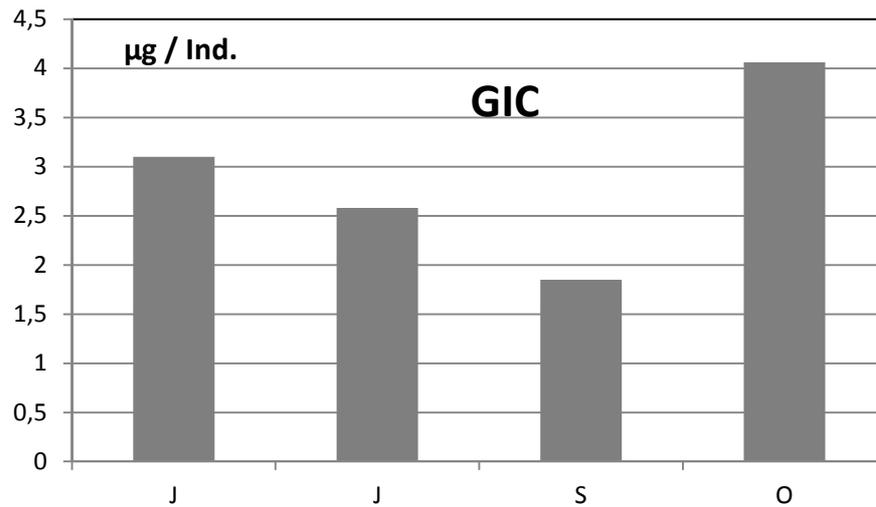


Abb. 2: Größensindex (GIC) der Wasserflöhe (Cladoceren) im Caputher See 2017.

Der **Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse** ($Z/P = \text{Zooplanktonbiomasse} / \text{Phytoplanktonbiomasse}$) lag zwischen 3,9 und 9,9 %/Tag und war damit erwartungsgemäß ebenso gering.

5 Diskussion

Zur genaueren Beurteilung der aktuellen Entwicklung des Caputher Sees im Jahr 2017 und besonders der Gründe für diese Entwicklung reichen die gegenwärtigen Untersuchungen mit nur viermaliger Beprobung der euphotischen Zone und reduziertem Parameterspektrum nicht aus, zumal die Untersuchung erst Mitte Juni begann. Es können somit nur Vermutungen genannt werden.

5.1 Bewertung des gegenwärtigen Zustands und der Veränderungen

Wetterverhältnisse im Untersuchungsjahr

Das Jahr 2017 war ein außergewöhnlich nasses Jahr. In der Summe fielen bis Mitte Dezember 742 mm Niederschlag, das ist ein Drittel mehr als der langjährige Mittelwert (1981 bis 2010). Auf ein im langjährigen Mittel vergleichsweise trockenes Frühjahr folgte ein überdurchschnittlich nasser Sommer mit mehr als dem Doppelten der durchschnittlichen Niederschläge in den Monaten Juni und Juli.

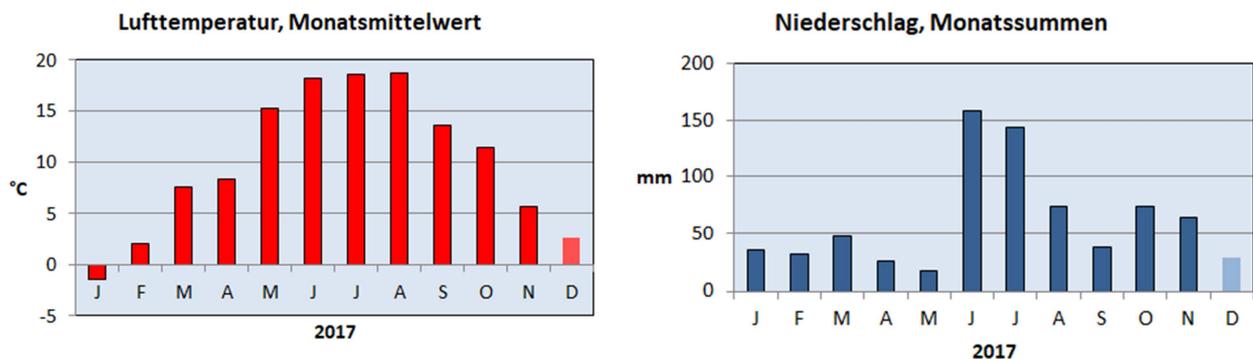


Abb. 3: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und Monatssummen der Niederschläge an der Wetterstation Potsdam², Daten Dezember: unvollständig (bis 15.12.)

Schichtungsverhalten und Sauerstoffhaushalt

Die Frühjahrszirkulation wurde bei den Untersuchungen am Caputher See nur in zwei Jahren, 2009 und 2015, erfasst. In beiden Jahren dauerte die Schichtung etwa von Mitte März bis Anfang Oktober. Die Frühjahrszirkulation wurde in den beiden letzten Jahren nicht erfasst, die Herbstzirkulation schien jedoch entsprechend den warmen Herbsttemperaturen deutlich später einzusetzen (ein bis zwei Wochen später).

Der Sauerstoffhaushalt war bei den Herbstbeprobungen sowohl 2016 als auch 2017 noch nicht wieder ausgeglichen, über Grund herrschte noch immer Sauerstoffmangel, während in früheren Jahren der Sauerstoff zu diesen Zeitpunkten schon wieder stark angestiegen war. Ebenso erreichte die Mächtigkeit der sauerstofffreien Zone sowohl 2016 als 2017 ein deutlich größeres Ausmaß als in den Jahren zuvor.

² (Quelle: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswerte-station.asp>)

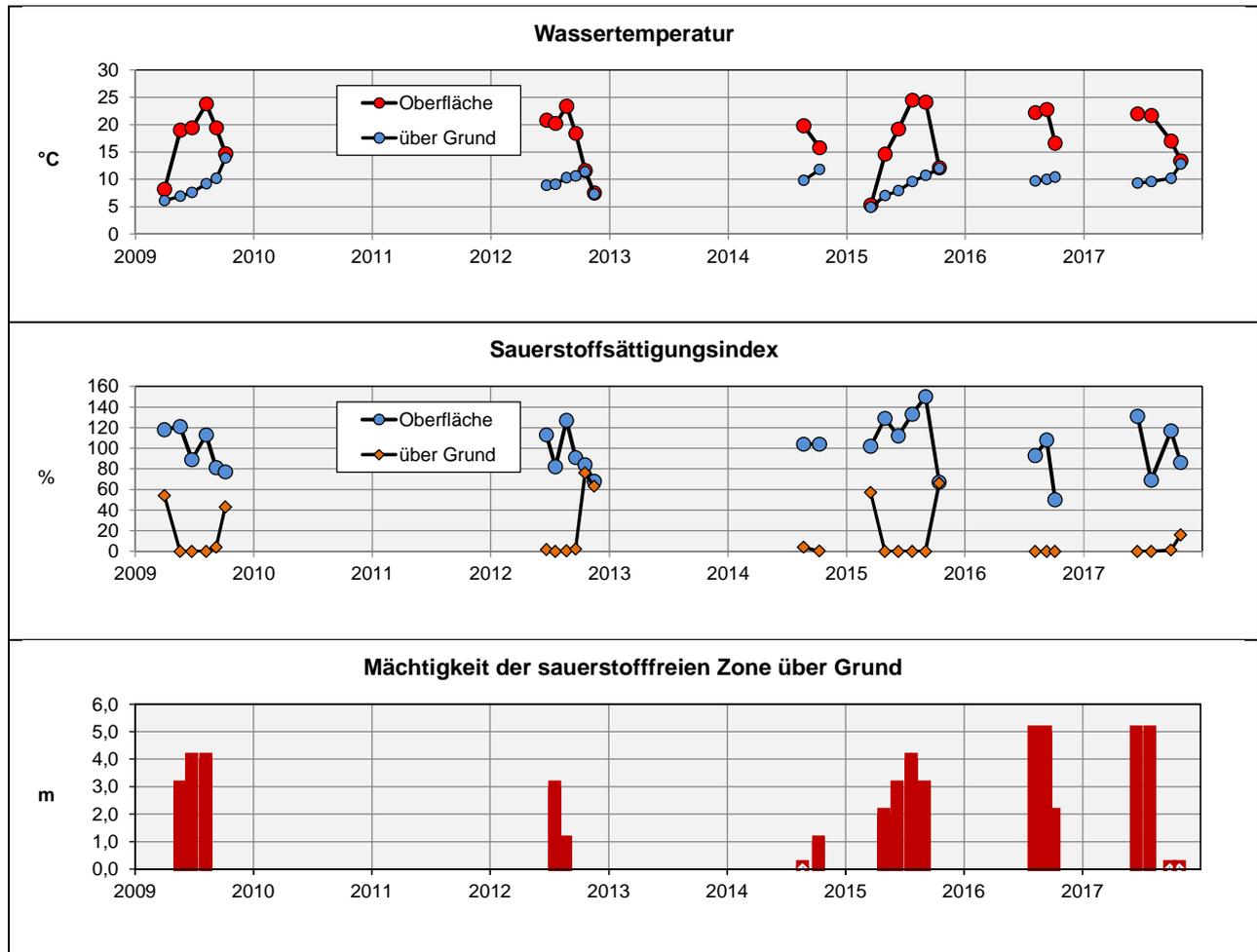


Abb. 4: Langjährige Entwicklung der Wassertemperatur und der Sauerstoffsättigung im Oberflächen- und im Tiefenwasser sowie der Mächtigkeit der sauerstofffreien Zone an der tiefsten Stelle im Caputher See.
(Datenquellen s. Tab. 4)

Sichttiefen, Chlorophyll, Nährstoffe

In Abb. 5 sind die langjährigen Reihen der für die wichtigsten physikalisch-chemischen Parameter dargestellt. Insgesamt zeigten die Nährstoffkonzentrationen im Caputher See gegenüber dem Vorjahr nur wenig Veränderungen. Bereits 2016 wurde ein Anstieg der Gesamtphosphor-Konzentrationen im Freiwasser des Caputher Sees beobachtet. Die 2017 durchgeführten vier Messungen zeigten zwar größere Schwankungen, lagen im Mittel aber in einem ähnlichen Bereich wie 2016. Eine eindeutige Aussage ist bei einem so lückigen Beprobungsraster zwar nicht möglich, es scheint aber, als sei die 2016 beobachtete TP-Zunahme leider kein einmaliges Ereignis.

Auch die Sichttiefen unterschieden sich kaum. Lediglich die Chlorophyllkonzentrationen zeigten im 2017 sehr warmen Herbst höhere Werte, die jedoch nicht mit höheren Biovolumina korrespondierten (s.u. → Phytoplankton).

Die Gesamtstickstoff-Konzentrationen zeigten, wie schon 2016, kaum Veränderungen. Höhere Ammoniumkonzentrationen wurden wie in den drei Vorjahren nicht gemessen, zeitweilig trat Nitrat in etwas erhöhten Konzentrationen auf.

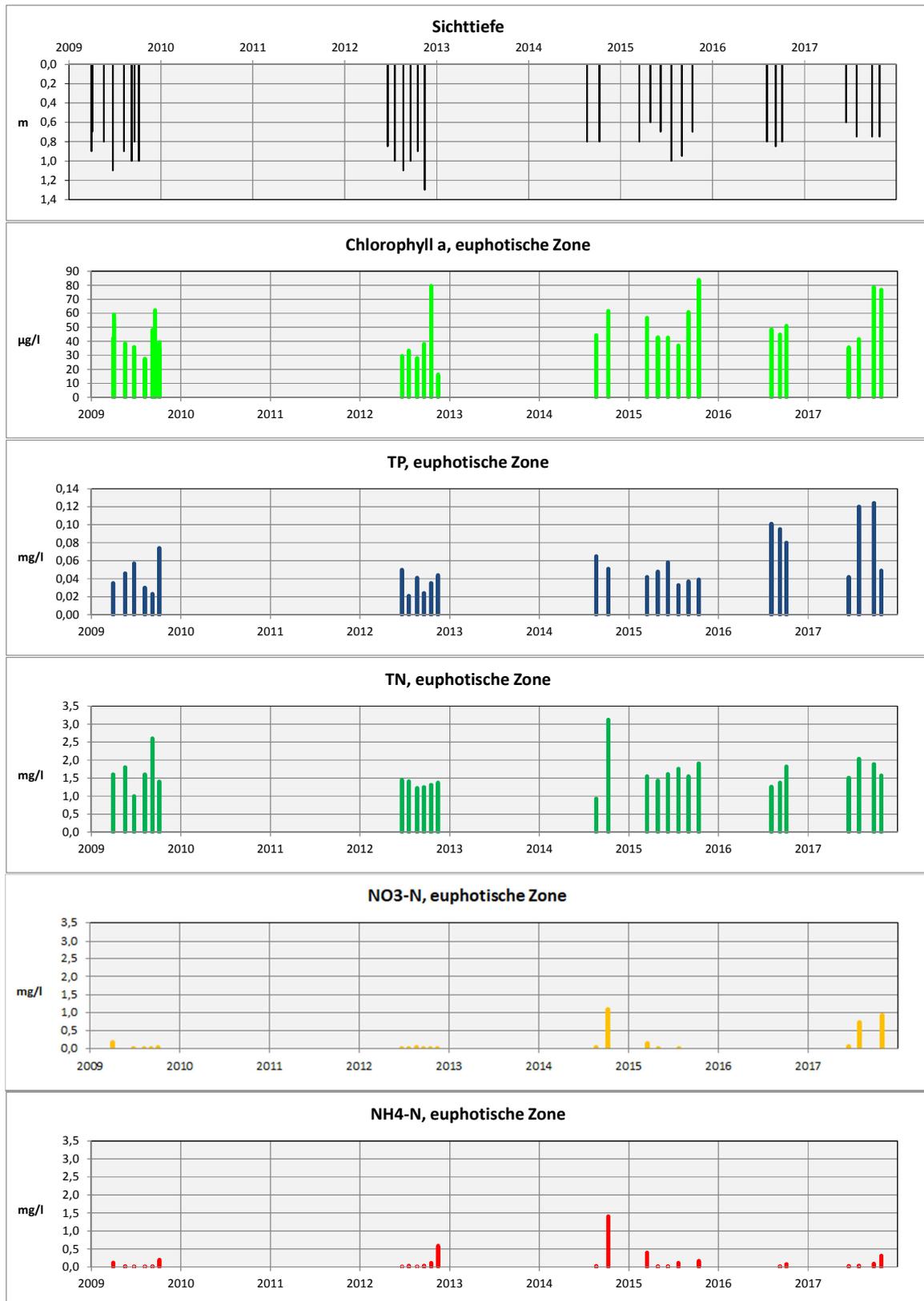


Abb. 5: Langjährige Entwicklung der Nährstoffe sowie von Chlorophyll und Sichttiefe in der euphotischen Zone an der tiefsten Stelle im Caputher See.
Datenquellen s. Tab. 4

Plankton

Phytoplankton

Daten zum Phytoplankton gibt es von 2012 und 2015 mit jeweils 6 Probenahmen und von 2014, 2016 und 2017 mit 2 bis 4 Probenahmen. Die mikroskopische Auswertung wurde stets vom gleichen Bearbeiter durchgeführt (ARP et al. 2013, ARP et al. 2014, ARP et al. 2016, und WÖBBECKE et al. 2016).

Beim Phytoplankton dominierten in allen untersuchten Jahren im Sommer und Herbst feinfädige Blaualgen, wobei das Artenspektrum der fädigen Blaualgen auch 2017 das gleiche ist (Abb. 6).

Der Caputher See wurde 2015 im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) anhand des Phytoplanktons bewertet. Im Vorfeld wurde der Caputher See einem Seetyp zugeordnet (polymiktischer Flachsee mit relativ großem Einzugsgebiet). Auf einer 5stufigen Skala von Klasse 1 (sehr gut) bis Klasse 5 (schlecht) wurde der Caputher See der Klasse 4 (unbefriedigend) zugeordnet. Nach den erhobenen Daten 2017 hat sich daran nichts geändert.

Diese seit Jahrzehnten deutliche Dominanz fädiger Blaualgen der Oscillatoriales im Caputher See wird auch in anderen Flachseen der Region beobachtet. Fädige Blaualgen können sehr effizient Phosphor in Algenbiomasse umsetzen, auch wenn seit 2016 eine Abnahme der Effizienz erkennbar ist.

Die fädigen Blaualgen sind schlecht durch das Zooplankton verwertbar, wodurch das Freiwasser-Nahrungsnetz insgesamt im See gestört ist (siehe unten → Zooplankton). Die andauernde starke Dominanz von fädigen Blaualgen ab dem Frühsommer mindert zudem die Sichttiefe im See besonders, da durch die Schlierenbildung der Algenfäden weniger Licht ins Wasser gelangt als bei anderen Algengruppen gleicher Biomasse.

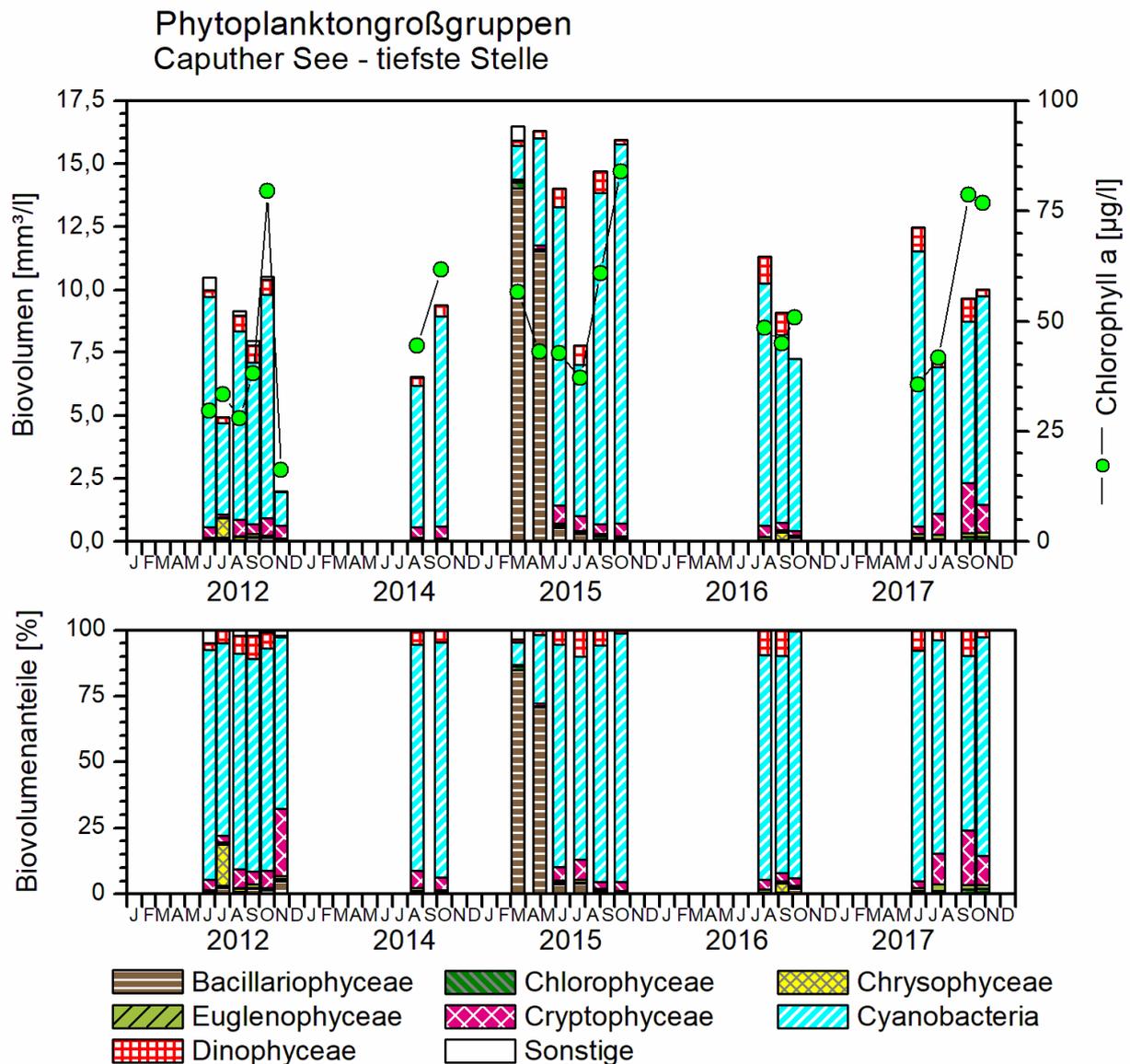


Abb. 6: Phytoplankton-Großgruppen und Chlorophyll a im Caputher See 2012 - 2017.
Oben: Absolute Werte für das Biovolumen und Chlorophyll a.
Unten: Prozentuale Anteile des Biovolumens.

Zooplankton

Vom Zooplankton liegen Altdaten von 2014, 2015 (6 Proben) und 2016 vor (ARP et al. 2014, ARP et al. 2016 und WÖBBECKE et al. 2016), wobei die Daten von 2014 durch die Modifizierung der Probenahmetechnik nur bedingt mit denen von 2015 bis 2017 vergleichbar sind³. Die mikroskopische Auswertung wurde stets vom gleichen Bearbeiter durchgeführt.

³ Im Jahr 2014 wurde ein Netz mit größerem Durchmesser der oberen Öffnung (25 cm Durchmesser), kürzerem Netzbeutel und ohne Aufsatzkegel jedoch gleicher Maschenweite verwendet, während 2015 und 2016 ein Netz mit längerem Netzbeutel, kleinerem Öffnungs-Durchmesser und einem Aufsatzkegel verwendet wurden. Ein Aufsatzkegel an der Netzöffnung und ein längerer Netzbeutel sind von Wichtigkeit, um beim Vertikalzug durch die Wassersäule einen möglichst geringen Staudruck zu haben. Dies gilt besonders bei kleinen Maschenweiten wie in diesem Fall von 55 µm. Methodische Vergleiche verschiedener

Wegen der geringen Probenanzahl im Jahr 2014 sowie im Jahr 2016 ist ein Vergleich nur eingeschränkt möglich. Die Daten zeigen aber immer noch keine deutlichen Veränderungen beim Zooplankton von 2014 zu 2017. Die omnivoren cyclopoiden Ruderfußkrebse sind stark vertreten, die herbivoren calanoiden Ruderfußkrebse fehlen, die Wasserflöhe sind schwach und nur durch kleine Arten vertreten und die Biomassen sind nach wie vor niedrig (Abb. 7 und Abb. 8). Die schwache Präsenz der Wasserflöhe ist sicherlich auf das weiterhin ungünstige Futterangebot (fädige Blaualgen) zurückzuführen.

Der Umsatz von Phyto- in Zooplankton berechnet auf Biovolumen-Basis lag 2014 bei ca. 3-5 % d^{-1} , 2015 bei maximal knapp 13 % d^{-1} , im Jahr 2016 bei 4 – 10 % d^{-1} und im aktuellen Jahr bei ca. 7-18 % d^{-1} (Abb. 9). Im Trend ist der Umsatz immer noch niedrig.

Die Entnahme von zahlreichen großen Silber- (Phytoplanktonfiltrierer) und Marmorkarpfen (Zooplanktonfiltrierer) in den letzten Jahren im Caputher See (www.caputhersee.de) hat bislang zumindest beim Metazooplankton noch nicht zu gravierenden Veränderungen im Artenspektrum geführt und sollte fortgesetzt werden. Es ergaben sich zwar für das Jahr 2015 und auch das Jahr 2017 relativ hohe Anteile an größeren Filtrierern (*Daphnia cucullata*) an der Gesamtmasse der Filtrierer (Cladocera), in den Jahren 2014 und 2016 sind die Anteile aber eher niedrig (Abb. 10).

Die Präsenz der räuberischen Büschelmückenlarven, deren Bestand offensichtlich zugenommen hat (Abb. 11) weist darauf hin, dass Fische keine allzu große Rolle als Prädatoren im Caputher See spielen, wobei allerdings nochmals darauf hinzuweisen ist, dass Büschelmückenlarven mit den üblichen Fangmethoden nicht quantitativ erfasst werden (vgl. oben!). Büschelmückenlarven leben räuberisch und tragen zusätzlich zum Rückgang des übrigen Zooplanktons bei. Neben den großen asiatischen Karpfen sollte auch der Bestand der kleinen Weißfische, die einen Fraßdruck auf das Zooplankton ausüben, dezimiert werden, um eine noch bessere Entwicklung des Zooplanktons anzustoßen. Inwieweit dies allerdings einen Einfluss auf die Büschelmückenentwicklung und diese wiederum auf das Zooplankton hat, ist schwer abzuschätzen.

Interessant wäre in diesem Zusammenhang zum einen, die Fischpopulation auch hinsichtlich der Altersstrukturen zu erfassen und die Entnahme der nichtheimischen Arten zu verstärken.

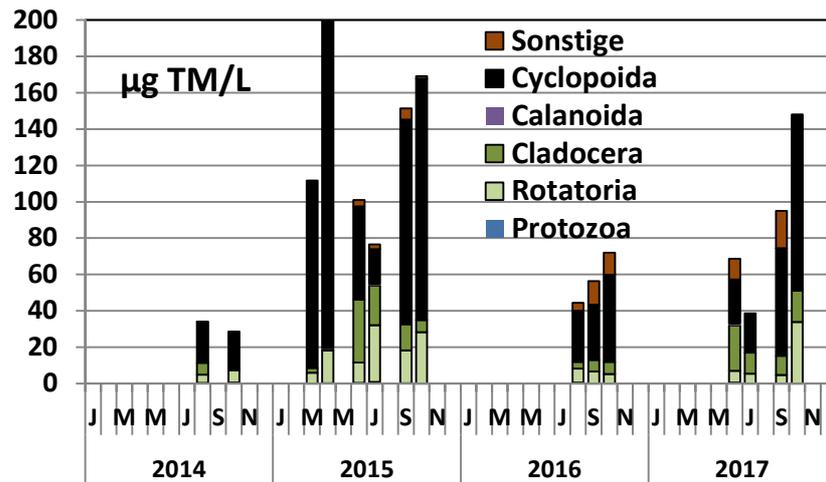


Abb. 7: Biomassenverteilung des Zooplanktons in den Jahren 2014 bis 2017 im Caputher See.

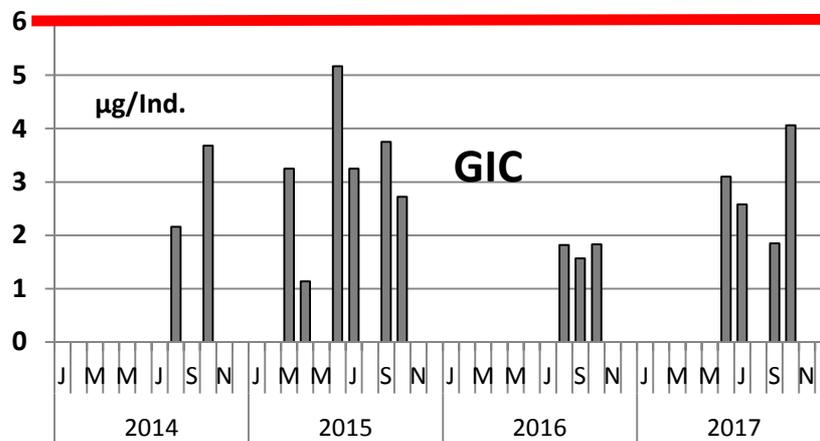


Abb. 8: Größenindex der Cladoceren. Rote Linie markiert die Masse einer 1 mm langen Daphnie. Jahre 2014 bis 2017 im Caputher See.

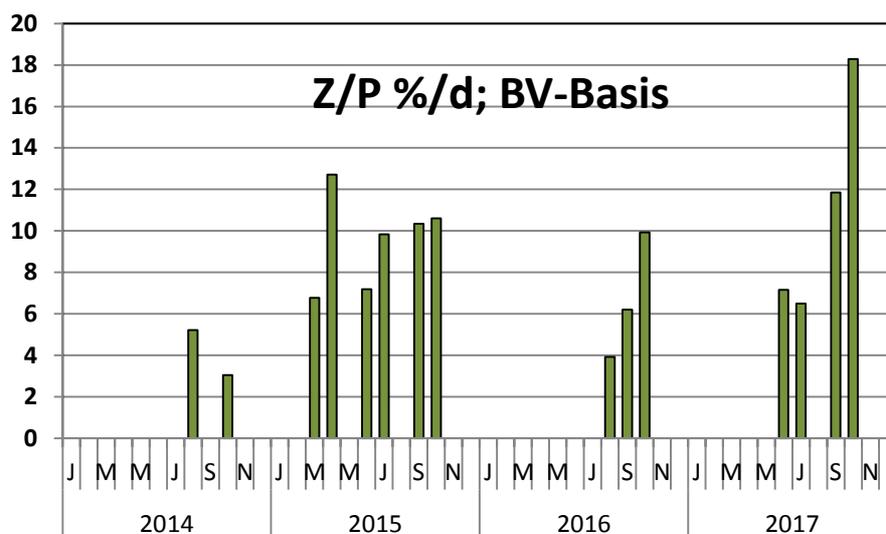


Abb. 9: Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse auf Biovolumen-Basis. Jahre 2014 bis 2017 im Caputher See.

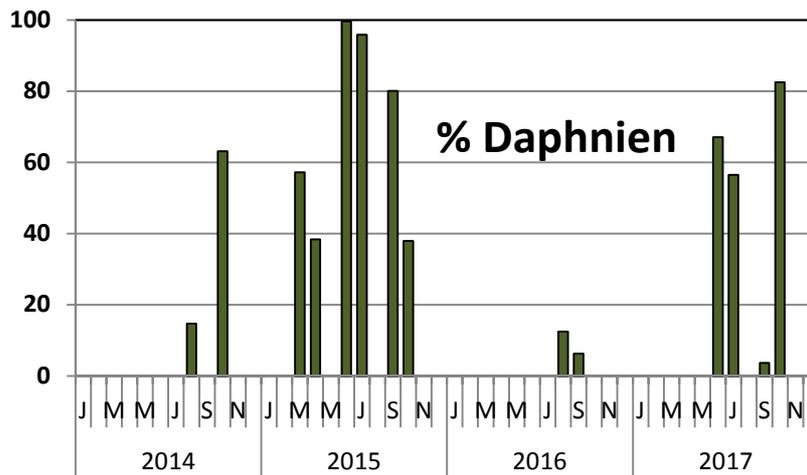


Abb. 10: Anteile der Daphnien an der Gesamtmasse (Trockengewicht) der Wasserflöhe (Cladoceren) (in %) 2014 bis 2017 im Caputher See.

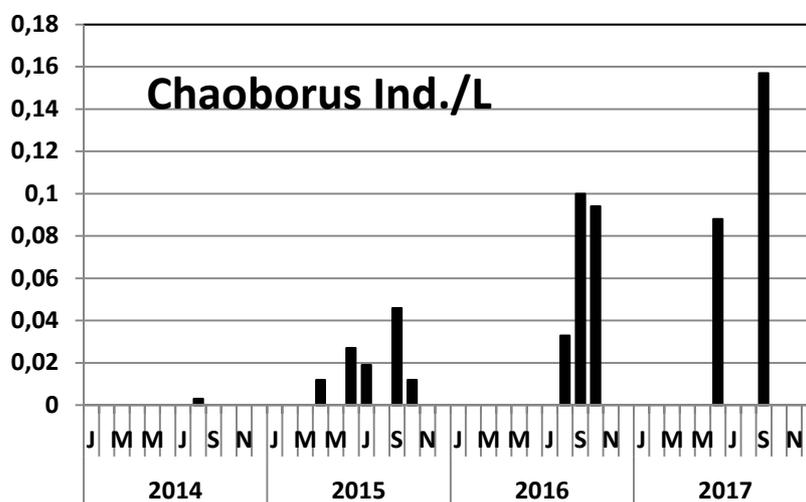


Abb. 11: Bestand der Büschelmücken im Caputher See 2014 bis 2017.

5.2 Mögliche Gründe für den Anstieg des Gesamtphosphors

Bereits die drei 2016 durchgeführten Messungen deuteten einen Anstieg der Gesamphosphorkonzentrationen im Freiwasser des Caputhers Sees an. Dies haben die 2017 durchgeführten vier Messungen tendenziell bestätigt. Eine eindeutige Aussage ist bei einem so lückigen Beprobungsraster zwar nicht möglich, es scheint aber, als sei die 2016 beobachtete TP-Zunahme kein einmaliges Ereignis.

Wie bereits im Vorjahresbericht dargelegt, sind vermehrte externe Einträge als Ursache unwahrscheinlich. Als wahrscheinlichere Möglichkeit wurde bereits im Vorjahresbericht eine vermehrte Phosphor-Rücklösung aus dem Sediment vermutet, die durch veränderte Wetterverhältnisse in den letzten Jahren verursacht sein kann.

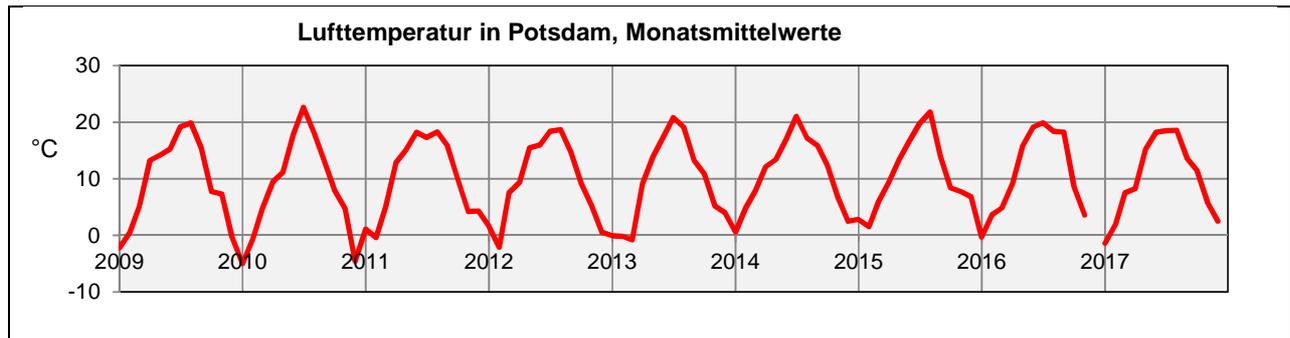


Abb. 12: Lufttemperatur in Potsdam 2009 bis 2017 (Quelle: DWD)

In früheren Jahren war der See im Winter meist eisbedeckt, die Schichtungsphase dauerte etwa von Mitte März bis Anfang/Mitte Oktober.

In den vergangenen vier Wintern dagegen (2014-2017) lagen die mittleren Monatstemperaturen auch im Januar und Februar stets über dem Gefrierpunkt (Abb. 12), eine Eisdecke war bestenfalls sehr kurzzeitig möglich. Durch die fehlende Eisbedeckung kann in einem See auch im Winter eine erhebliche Primärproduktion stattfinden. Besonders fädige Blaualgen, wie sie im Caputher See dominieren, können bei milden Wintertemperaturen gut überwintern, so dass ein schneller Wachstumsstart im kommenden Frühjahr möglich ist (ADRIAN et al. 1995). Zusätzlich setzte die Schichtungsphase mit entsprechender Sauerstoffzehrung im Frühjahr vermutlich früher ein. Aufgrund des reduzierten Beprobungsprogramms kann dies für den Caputher See nur vermutet werden.

Belegt ist dagegen die Verlängerung der Schichtungsphase im Herbst: In den letzten Jahren gab es eine Tendenz zu länger anhaltender sommerlicher Wärme: der Oktober 2017 war z.B. 2,0°C, der September 2016 sogar 4,0°C wärmer als im langjährigen Mittel (1981-2010)⁴. Dadurch verlängert sich die Schichtungsphase, und die Zehrungs- und Rücklösungsprozesse am Sediment können sich intensivieren. Dieser Prozess kann sich aufschaukeln, so dass die Eutrophierung weiter angeheizt wird. Ähnliches wurde für eine Vielzahl von Seen beschrieben (z.B. ADRIAN et al. 2009).

Ebenfalls belegt ist die größere Ausdehnung der sauerstofffreien Zone im Hypolimnion (s. Abb. 4), durch die weitere Bereiche des Seebodens anoxisch sind, die sowohl 2016 als auch 2017 beobachtet wurden.

Die Erhöhung der Gesamtphosphorwerte hat bisher nicht zu einer entsprechenden Erhöhung des Phytoplankton-Wachstums geführt. Ob dies auch in der Zukunft nicht der Fall sein wird, kann nicht vorausgesagt werden. Der Stabilisierung der Nahrungsketten (weitere, effektive Abfischung von zooplanktonfressenden Fischen) kommt eine zunehmende Bedeutung zu.

⁴ Quelle Wetterkontor: <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/monatswerte-station.asp>

6 Anhang

6.1 Quellenverzeichnis

6.1.1 Publikationen und Berichte

- ADRIAN, R. & R. DENEKE & U. MISCHKE & R. STELLMACHER & R. LEDERER (1995): A long-term study of the Heiligensee (1975 - 1992). Evidence for effects of climatic change on the dynamics of eutrophied lake ecosystems.- Arch. Hydrobiol. 133, 3: 315 - 337.
- ADRIAN, R., C.M. O'REILLY, H. ZAGARESE, S.B. BAINES, D.O. HESSEN, W. KELLER, D.M. LIVINGSTONE, R. SOMMARUGA, D. STRAILE, E. VAN DONK, G.A. WEYHENMEYER & M. WINDER (2009): Lakes as sentinels of climate change. – Limnol. Oceanogr. 54 (6,part2): 2283-2297.
- ARP, W., B. KOPPELMEYER & K. WÖBBECKE (2013): Monitoring zur Indikation des trophischen Zustandes gemäß EU-Wasserahmenrichtlinie in 4 Seen im Land Brandenburg im Jahr 2012.- Bericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg: 1 – 62 + Anhang
- Arp, W., K. Wöbbecke, G. Maier & B. Koppelmeyer (2014): Limnologische Untersuchungen des Caputher Sees 2014.- Bericht für den Verein Caputher See e.V.: 1 – 16 + Anhang.
- ARP, W., K. WÖBBECKE, G. MAIER, U. MICHELS & B. KOPPELMEYER (2016): Monitoring von Phytoplankton, Zooplankton und Limnochemie gemäß EU-WRRL in 13 Seen im Land Brandenburg.- Endbericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (Kennziffer S3-VG-14-148/1): 1 – 122 + Anhang.
- ATT (1998): Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen.- AG Trinkwassertalsperren e.V. Arbeitskreis Biologie, ATT Techn. Inf.. Nr. 7: 1 – 150.
- CUMMINS K.W-, COSTA R.R., ROWE R.E., MOSHIRI G.A. SCANLON R.M. & ZAJDEL K. (1969): Ecological energetics of a natural population of the predaceous zooplankter *Leptodora kindtii* Focke (Cladocera). Oikos 20: 189-220.
- DUMONT H.J., VAN DE VELDE I. & DUMONT S. (1975): The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia 19: 75-97.
- GANNON J.E. & STEMBERGER R.S. (1978): Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality. Trans. Amer. Micros. Soc. 97: 16-35.
- GARTON D.W. & BERG D.J. (1990): Occurrence of *Bythotrephes cederstroemi* (Schoedler 1877) in Lake Superior, with evidence of demographic variation within the Great Lakes. J. Great Lakes Res. 16: 148-152.
- GELLER W. & MÜLLER H. (1981): The filtration apparatus of Cladocera: Filter mesh-sizes and their implication on food selectivity. Oecologia 49: 316-321.
- GLIWICZ Z.M. (1969): Studies on the feeding of pelagic zooplankton in lakes with varying trophy. Ecol. Pol. 17: 663-707.
- JEPPESEN E., JENSEN J.P., SØNDERGAARD M. LAURIDSEN T, PEDERSEN L.J. & JENSEN L. (1997): Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. Hydrobiologia 342/343: 151-164.

- KARABIN A. (1983): Ecological characteristics of lakes in North-Eastern Poland versus their trophic gradient. VII. Variations in the quantitative and qualitative structure of the pelagic zooplankton (Rotatoria and crustacean) in 42 lakes. *Ekol. Pol.* 31: 383-409.
- KIEFER, F. & FRYER, G. (1978): Copepoda. In: *Das Zooplankton der Binnengewässer* 2. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung; Nägele und Obermiller: 208 pp.
- KLAPPER, H. (1992): *Eutrophierung und Gewässerschutz*.- Gustav Fischer: Verlag: 1 – 277.
- LAWA (1999). *Gewässerbewertung – stehende Gewässer – Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien 1998*.- LAWA, Schwerin: 1 – 74.
- MAIER G. (1996): Copepod communities in lakes of varying trophic degree. *Arch. Hydrobiol.* 136: 455-465.
- McCaughey E. (1984): The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. In: *A manual methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters* (eds. Downing J.A. & Rigler F.H.). IBP Handbook 17. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, pp. 228-265.
- Mietz, O., W. Arp, I. Gabrysch, H. Henker, J. Meisel, S. Pausch, K. Ramm, A. Riemer, J. Schönfelder, H. Thies, H. Vietinghoff & B. Wichura (1996): *Die Seen im Brandenburgischen Jungmoränenland*.- Gewässerkataster und angewandte Gewässerökologie e.V. / Institut für angewandte Gewässerökologie in Brandenburg gemeinnützige GmbH: 1 - 139 + Anhangsband.
- MIETZ, O., W. ARP, I. GABRYSCH, H. HENKER, J. MEISEL, S. PAUSCH, K. RAMM, A. RIEMER, J. SCHÖNFELDER, H. THIES, H. VIETINGHOFF & B. WICHURA (1996): *Die Seen im Brandenburgischen Jungmoränenland*.- Gewässerkataster und angewandte Gewässerökologie e.V. / Institut für angewandte Gewässerökologie in Brandenburg gemeinnützige GmbH: 1 - 139 + Anhangsband.
- MIETZ, O., W. ARP & I. GABYSCH (1997): *Die Beschreibung der Trophiesituation von 20 Seen im Potsdamer Seengebiet und vergleichende Untersuchungen zur trophischen Situation Ende der 80er Jahre*.- Projektbericht zum Aufgabenbericht. Gewässerkataster und angewandte Gewässerökologie e.V.: 1 – 52 + Anhang.
- 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, U. & B. NIXDORF (2008): *Gewässerreport (Nr. 10): Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie*, BTUC-AR 2/2008, ISBN 978-3-940471-06-2: 7 - 115.
- Natur und Text (1996): *Untersuchungen zur ökologischen Diagnose, Bewertung und Entwicklungsüberwachung grösserer Seen Brandenburgs auf der Grundlage von Leitarten und Leitbiozönosen*.- Pilotstudie zur ökologischen Diagnose, Bewertung und Entwicklungsüberwachung oligo-, mesotropher und natürlich eutropher Seen Brandenburgs auf der Grundlage von Leitarten und Leitbiozönosen.
- NATUR UND TEXT (1996): *Untersuchungen zur ökologischen Diagnose, Bewertung und Entwicklungsüberwachung größerer Seen Brandenburgs auf der Grundlage von Leitarten und Leitbiozönosen*. - Pilotstudie zur ökologischen Diagnose, Bewertung und Entwicklungsüberwachung oligo-, mesotropher und natürlich eutropher Seen Brandenburgs auf der Grundlage von Leitarten und Leitbiozönosen.

- NIXDORF, B., HOEHN, E., MISCHKE, U., RÜCKER, J., SCHÖNFELDER, I. & M. BAHNWARD (2008): Anforderungen an Probenahme und Analyse der Phytoplanktonbiozöosen in Seen zur ökologischen Bewertung gemäß der EU-WRRL. In: MISCHKE, U. & B. NIXDORF (2008): Gewässerreport (Nr. 10): Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, BTUC-AR 2/2008, ISBN 978-3-940471-06-2: 147 - 184.
- NIXDORF, B., F. VEDDER, J. POLTZ & O. MIETZ (2009): Ressourceneffizienz (Chla/TP) des Phytoplanktons und Lichtregime in Flachseen.- Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2008 (Konstanz), Hardegsen: 236 – 241.
- PADISAK, J. & R. ADRIAN (1999): Biovolumen.- In W. v. Tümping & G. Friedrich (Hrsg.) (1999): Biologische Gewässeruntersuchung. Methoden der biologischen Wasseruntersuchung, Band 2. - G. Fischer Verlag Jena: 1 – 545.
- SCHEFFER, M. (1998): Ecology of shallow lakes.- Kluwer Academic Publishers: 1 – 357.
- STEMBERGER R. (1979): A guide to rotifers of the Laurentian Great Lakes. U.S. EPA publication: EPA/600/4-79-021. Washington DC., 185 pp.
- STICH, B., MAIER, G. & A. HOPPE (2010): Projekt Zooplankton - Probenahme - Bericht der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Institut für Seenforschung (ISF). 35 pp.
- TÜMPLING V. W. & FRIEDRICH G. (1999): Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung; Bd. 2, Biologische Gewässeruntersuchung. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm: 541 pp.
- WÖBBECKE, K., B. KOPPELMEYER & W. ARP & G. MAIER (2016): Limnologische Untersuchungen des Caputher Sees 2016. Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons sowie wichtiger limnochemischer Gewässerparameter vom August, September und Oktober 2016.- Bericht im Auftrag der Gemeinde Schwielowsee: 1 – 25 + Anhang.

6.1.2 Verwendete Bestimmungsliteratur

Phytoplankton

- ANAGNOSTIDIS, K. & J. KOMÁREK (1985): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 1 - Introduction.- Archiv für Hydrobiologie Supplement 71 (1/2): 291 - 302.
- ANAGNOSTIDIS, K. & J. KOMÁREK (1988): Modern approach to the classification system of cyanophytes - 3 - Oscillatoriales.- Archiv für Hydrobiologie Supplement 80 (1-4): 327 - 472.
- BOURRELLY, P. (1972): Les Algues vertes.- Éditions N. Boubée & Cie. Paris : 1 - 569.
- ETTL, H. (1983): Chlorophyta I - Phytomonadina.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 9. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, New York: 1 - 530.
- ETTL, H. (1983): Xanthophyceae, Teil 1.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 3. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, New York: 1 - 515.
- FÖRSTER, K. (1982): Conjugatophyceae - Zygnematales und Desmidiaceae (excl. Zygnemataceae).- E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart, Germany: 1 - 543.

- GEITLER, L. (1932): Cyanophyceen.- Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. 2. Auflage. Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. Leipzig: 1 – 1179.
- JOHN, D. M., B.A. WHITTON, & A.J. BROOK (2003) :The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae.- University Press, Cambridge. Cambridge: 1 - 702
- KADLUBOWSKA, J.Z. (1984): Conjugatophyceae I – Chlorophyta VIII, Zygnemales.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 16. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York: 1 - 532.
- KASTEN, J. (2002): Die Dynamik der Phytoplanktongemeinschaften einer saisonal überfluteten Fluß-Auern-Landschaft (Unteres Odertal – Brandenburg).- Dissertation an der Freien Universität Berlin. Lehmanns Fachbuchhandlung Berlin (ISBN 3-936427-00-3): 1 – 255.
- KOMAREK, J. (2013): Cyanoprokaryota 3. Teil/Part 3: Heterocytous Genera.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3. Springer Spektrum: 1 - 1130.
- KOMÁREK, J. & B. FOTT (1983): Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart, Germany.
- KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS (1998): Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/1. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Ulm: 1 - 548.
- KOMÁREK, J. & K. ANAGNOSTIDIS (2005): Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales - Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/2. Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag: 1 - 759.
- KOMÁREK, J. (1999): Übersicht der planktischen Blaualgen im Einzugsgebiet der Elbe.- Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg: 1 – 54 + Anhang.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT (1986): Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae.- Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York: 1 - 876.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT (1988): Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae.- Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York: 1 - 596.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT (1991): Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena: 1 - 576.
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT (1991): Bacillariophyceae 4. Teil: Acanthaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena: 1 – 437.
- KRIENITZ, L. (1990): Coccale Grünalgen der mittleren Elbe. Limnologica 21 (1): 165 – 231.
- LENZENWEGER, R. (1996): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 1.- Bibliotheca Phycologia, Bd. 101. J. Cramer in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung Berlin, Stuttgart: 1 – 162.
- LENZENWEGER, R. (1997): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 2.- Bibliotheca Phycologia, Bd. 102. J. Cramer in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung Berlin, Stuttgart: 1 – 216.
- LENZENWEGER, R. (1999): Desmidiaceenflora von Österreich, Teil 3.- Bibliotheca Phycologia, Bd. 104. J. Cramer in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung Berlin, Stuttgart: 1 – 218.
- MEFFERT, M.-E. & H.-J. KRAMBECK (1977): Planktonic blue-green algae of the *Oscillatoria redekei* group.- Archiv für Hydrobiologie 79(2): 149 – 171.

- MEFFERT, M.-E. (1988): *Limnothrix* MEFFERT nov. gen. Archiv für Hydrobiologie Supplement 80 (1-4): 269 – 276.
- MEFFERT, M.-E., R. OBERHÄUSER, & J. OVERBECK (1981): Morphology and Taxonomy of *Oscillatoria redekei* (Cyanophyta).- British phycological Journal 16: 107 – 114.
- POPOVSKÝ, J. & L.A. PFIESTER (1990): Dinophyceae.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena: 1 - 272.
- STARMACH, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae.- Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 1. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York: 1 - 515.

Zooplankton

- Benzie, J. A. H., 2005. Cladocera: The Genus *Daphnia* (including *Daphniopsis*) (Anomopoda: Daphniidae). In H. J. F. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 21. Backhuys Publishers, Leiden: 376 pp.
- Breitung, G., 1972. VIII. Mollusken. In H. Bick, G. Breitung, Th. Grospietsch, Ch. Holmquist, H. Löffler, E. Reisinger, A. Ruttner-Kolisko, O. A. Sæther & J. Schwoerbel, 1972. Das Zooplankton der Binnengewässer, 1. Teil. In H.-J. Elster & W. Ohle, Die Binnengewässer. Vol. 26/1. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 286-291.
- Einsle, U., 1993. Crustacea. Copepoda. Calanoida und Cyclopoida. In J. Schwoerbel & P. Zwick (Hrsg.), Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Bd. 8/4-1. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York: 208 pp.
- Einsle, U., 1996. Copepoda: Cyclopoida. Genera Cyclops, Megacyclops, Acanthocyclops. In H. J. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 10. SPB Academic Publishing, Amsterdam: 82 pp.
- Flößner D., 1972. Kiemen- Blattfüßer, Branchiura Fischläuse, Branchiura. In: Dahl, TWD 60: 501 pp.
- Flößner, D., 2000. Die Haplopoda und Cladocera (ohne Bosminidae) Mitteleuropas. Backhuys Publishers, Leiden: 428 pp.
- Herbst H.V. (1976): Blattfußkrebse. In: Einführung in die Kleinlebewelt. Kosmos-Verlag Franckh-Stuttgart: 130 pp.
- Holmquist, Ch., 1972. V. Mysidacea. In H. Bick, G. Breitung, Th. Grospietsch, Ch. Holmquist, H. Löffler, E. Reisinger, A. Ruttner-Kolisko, O. A. Sæther & J. Schwoerbel. Das Zooplankton der Binnengewässer, 1. Teil. In H.-J. Elster & W. Ohle, Die Binnengewässer. Vol. 26/1. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 247-256.
- Kiefer F., 1973. Ruderfußkrebse. In: Einführung in die Kleinlebewelt. Kosmos-Verlag Franckh-Stuttgart: 99 pp.
- Kiefer F. & Fryer G., 1978. Copepoda. In: Das Zooplankton der Binnengewässer 2. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung; Nägele und Obermiller: 208 pp.
- Koste W., 1978: Rotatoria: Die Rädertiere Mitteleuropas Bd. 1. und 2. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart: 673 pp bzw. 234 Tafeln.

- Korovchinsky, N. M., 1992. Sididae and Holopediidae. (Crustacea: Daphniiformes). In H. J. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 3. SPB Academic Publishing, The Hague: 82 pp.
- Lieder, U., 1996. Crustacea. Cladocera/Bosminidae. In J. Schwoerbel & P. Zwick (Hrsg.), Süßwasserfauna von Mitteleuropa. Bd. 8/2-3. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm: 80 pp.
- Nogrady, T. & H. Segers (Eds), 2002. Rotifera. Vol. 6: Asplanchnidae, Gastropodidae, Lindiidae, Microcodidae, Synchaetidae, Trochosphaeridae and Filinia. In H. J. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 18. Backhuys Publishers, Leiden: 264 pp.
- Nogrady, T., R. Pourriot & H. Segers, 1995. Rotifera. Volume 3: Notommatidae and Scardiidae. In T. Nogrady (Ed.), Rotifera. In H. J. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 8. SPB Academic Publishing, Amsterdam: 248 pp.
- Orlova-Bienkowskaja, M. Y., 2001. Cladocera: Anomopoda. Daphniidae: genus *Simocephalus*. In H. J. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Backhuys Publishers, Vol. 17. Leiden: 130 pp.
- Pontin, R. M., 1978. A key to the Freshwater Planktonic and semi-planktonic Rotifera of the British Isles. Scientific Publication. Vol. 38. Freshwater Biological Association: 178 pp.
- Ruttner-Kolisko, A., 1972. III. Rotatoria. In H. Bick, G. Breitig, Th. Grospietsch, Ch. Holmquist, H. Löffler, E. Reisinger, A. Ruttner-Kolisko, O. A. Sæther & J. Schwoerbel. Das Zooplankton der Binnengewässer, 1. Teil. In H.-J. Elster & W. Ohle, Die Binnengewässer. Vol. 26/1. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 99-234.
- Smirnov, N. N., 1996. Cladocera: the Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the World. In H. J. F. Dumont (Co.-Ed.), Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Vol. 11. SPB Academic Publishing, Amsterdam: 197 pp.
- Voigt, M. & W. Koste, 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Überordnung Monogononta. Bd. I, Textband. 2. Aufl. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart: 673 pp.
- Voigt, M. & W. Koste, 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. Überordnung Monogononta. Bd. II, Tafelband. 2. Aufl. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart: 234 T.

6.2 Methoden

6.2.1 Feldmethoden

Die Probenahmen erfolgten vom Boot aus im Bereich der tiefsten Stelle. Anhand vorgegebener Koordinaten (UTM, ETRS89) für den tiefsten Punkt im See und einem Personal Navigator mit GPS-Empfang (eTrex der Fa. Garmin) konnte die Probestelle mit einer Genauigkeit von 5 m angefahren werden.

Im Rahmen der Wasseruntersuchungen wurden vor Ort die Sichttiefe mit einer Secchi-Scheibe gemessen sowie mit Multiparametersonden der Firma HANNA und Instruments und Hydrolab Tiefenprofile für Wassertemperatur, pH-Wert, Sauerstoffsättigung, Redox-Potential und elektrische Leitfähigkeit in adäquaten Tiefenschritten aufgenommen.

Die Wasserproben für die Laboranalyse wurden entsprechend den Vorgaben des LUGV Brandenburg für die Probenahme in Anlehnung an die EU-Wasserrahmenrichtlinie als Mischprobe aus der euphotischen Zone hergestellt. Hierzu wurden volumengleiche Teilproben mit einem Wasserschöpfer nach Friedinger in 1-m-Schritten bis maximal zum 2,5fachen der Sichttiefe entnommen. Die so hergestellten Mischproben wurden in vorbereitete Probengefäße abgefüllt, gekühlt und dunkel aufbewahrt und umgehend in das in Brandenburg notifizierte akkreditierte Labor der PWU Potsdamer Wasser- und Umweltlabor GmbH & Co. KG nach Potsdam transportiert.

Für die Phytoplanktonanalyse wurden aus der Mischprobe 100 ml abgefüllt und mit Lugol'scher Lösung fixiert.

Für die Zooplanktonanalyse wurde jeweils mit einem Planktonnetz mit Aufsatzkegel (Maschenweite 55µm) ein Vertikalzug über die Wassersäule durchgeführt, in der Regel aus 0-7 m im August und Oktober und aus 0 – 8 m im September. Das Entnahmevermögen betrug 149 (Aug. und Okt.) und 171 Liter im Sept. Die eingeeengten Proben wurden mit Formaldehyd fixiert (Endkonzentration 4%).

6.2.2 Limnochemische Analysen

Die limnochemischen Laboranalysen der Wasserproben wurden in dem in Brandenburg notifizierte, akkreditierte Labor der PWU Potsdamer Wasser- und Umweltlabor GmbH nach an das Probengut und die Fragestellung angepassten geltenden Normen und Analysenvorschriften sowie weiteren Vorgaben des LfU hinsichtlich der Gesamt-Phosphor-Analyse durchgeführt (Tab. 3).

Tab. 3: Labormethoden
Angaben der PWU Potsdamer Wasser- und Umweltlabor GmbH & Co. KG

Analyseparameter	Verfahren	Beschreibung	Einheit	BG
Gesamt-P	DIN EN ISO 6878	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat (ISO 6878:2004); Deutsche Fassung EN ISO 6878:2004	mg/l	0,005
gelöster reaktiver Phosphor	DIN EN ISO 6878	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat (ISO 6878:2004); Deutsche Fassung EN ISO 6878:2004	mg/l	0,005
Gesamt-N	DIN EN 12260	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Stickstoff - Bestimmung von gebundenem Stickstoff (TNb) nach Oxidation zu Stickstoffoxiden; Deutsche Fassung EN 12260:2003	mg/l	0,2
Nitrat-N	DIN EN ISO 10304-1	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie - Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat (ISO 10304-1:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10304-1:2009	mg/l	0,01
Ammonium-N	DIN 38406-5	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E); Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs (E 5)	mg/l	0,01
Chlorophyll a, Phaeopigment	DIN 38412-16	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Bestimmung des Chlorophyll-a-Gehaltes von Oberflächenwasser (L 16)	mg/l	0,001
DOC	DIN EN 1484-H3	Wasseranalytik - Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)	mg/l	1

6.2.3 Phytoplankton

Die qualitative und quantitative Analyse des Phytoplanktons der Lugolprobe erfolgte, so weit möglich, an einem Umkehrmikroskop der Fa. Leitz bei Hellfeldbeleuchtung mit bis zu 790facher Vergrößerung, des Weiteren bei schwierig zu bestimmenden Arten mit einem Interferenz-Auflichtmikroskop mit bis zu 1000facher Vergrößerung.

Kieselalgen wurden nicht gesondert präpariert.

Die Labor-Analyse erfolgte in Anlehnung an NIXDORF et al. (2008).

Qualitative Analyse

Die qualitative Analyse erfolgte möglichst auf Artniveau, in der Regel aber zumindest bis zu dem Mindestbestimmbarkeitsniveau, das im Rahmen der Entwicklung des WRRL-Bewertungssystemes von der Arbeitsgruppe MISCHKE et al. für jedes Taxon festgelegt wurde. Jedes erfasste Taxon erhielt die Bezeichnung und ID-Nummer aus der harmonisierten Phytoplankton-Taxaliste Deutschlands, die aus dem Internet herunterladbar ist (Website Dr. Ute Mischke, IGB, mit Stand vom Juni 2009).

Zählung und Biovolumen-Ermittlung

Für die quantitative Analyse der Taxa der Lugolprobe wurden, wenn möglich, mindestens 15 Arten bzw. Taxa quantitativ erfasst. Es wurden dabei mindestens 95 % der Biomasse ermittelt und mindestens 400 Objekte pro Probe gezählt. Die Abundanz des Phytoplanktons wurde durch Auszählen der gesamten Sedimentationskammer oder von Transekten, abhängig von Größe und Dichte der Organismen, ermittelt. Bei der Zählung kleinerer dominanter Phytoplanktontaxa wurden mindestens 60 Zellen bzw. Zählleinheiten pro Art in mindestens zwei Transekten ausgezählt. Größere Taxa wurden in größeren Teilflächen bzw. der gesamten Kammer ausgewertet. Fäden in der Lugolprobe (incl. Aulacoseira) wurden in der Regel durch Zählung von 100- μm -Abschnitten gezählt.

Bei erhöhtem Vorkommen von gallertigen Cyanobakterien (meist *Microcystis*) wurde eine Teilprobe der Lugolprobe mit einem Ultraschall-Desintegrator (Sonoplus Ultraschall-Homogenisator HD 2070) behandelt, so dass die Kolonien aufgelöst wurden und die Zellen einzeln gezählt werden konnten. Die Proben wurden ca. 2 min. bei 70 % Power beschallt. In der unbehandelten Lugolprobe wurde vorher der jeweilige Anteil der einzelnen chroococcalen Arten an der Gesamtanzahl der Zellen abgeschätzt.

Das Körpervolumen des Phytoplanktons der Lugolprobe wurde durch Annäherung an geometrische Körper in Anlehnung an ATT (1998) und PADISAK & ADRIAN (1999) ermittelt. Bei in der Größe stark variablen Taxa wurden ca. 20 Zellen pro Taxon oder Größenklasse gemessen. Bei Taxa mit nahezu konstantem Volumen wurde das Volumen der einmal vermessenen Zelle beim nächsten Termin wiederverwendet. Bei selten vorkommenden Taxa wurden vereinzelt Volumina aus der Literatur verwendet. Das Biovolumen wurde für jedes Taxon, jede Algenklasse und die Gesamtprobe berechnet.

6.2.4 Zooplankton

Probenbehandlung

Jede der angelieferten Zooplankton-Proben wurde vor ihrer Bearbeitung zunächst über ein 30 μm Planktongaze-Sieb dekantiert und mit Leitungswasser gespült. Das im Sieb konzentrierte Zooplankton wurde anschließend – je nach Dichte - in 100 – 2000 ml Kolben suspendiert. Aus dieser Suspension wurden Teilproben / Aliquote (≥ 2) entnommen, anschließend in 10 ml Röhrenkammern (Kammerhöhe 1 cm) gefüllt und nach einer Sedimentationszeit von ca. 10 (Crustaceen) bis 30 Minuten (Rotatorien) unter dem inversen Mikroskop (Zeiss IM35) ausgezählt (Vergrößerung ca. 60-fach bei Crustaceen und 100-fach bei Rotatorien). Bei der Suspension der Proben wurde darauf geachtet, dass das Zooplankton homogen verteilt ist. Bei der Abfüllung der Kammern wurde möglichst rasch gearbeitet, da große Zooplankter (Daphnien, eitragende Copepodenweibchen) rasch sedimentieren und bei „langsamer Vorgehensweise“ nicht repräsentativ erfasst werden. Für aspektbestimmende Arten wurden mindestens 100 Individuen ausgezählt. Insgesamt wurden mindestens 400 Individuen je Probe (ohne Copepoden Nauplien) ausgezählt (vgl. Vorgaben Projekt Phytoloss und Projekt Ba.-Wü.).

Art-Bestimmung

Die Zählung / Bestimmung erfolgte soweit möglich auf Artbasis. Für die Bestimmung der Arten wurde die aktuelle Bestimmungsliteratur verwendet: Rotatoria: KOSTE (1978), RUTTNER-KOLISKO (1978); Cladocera: FLÖBNER (1993, 2000), LIEDER (1999), HERBST (1976 – nur Litoralcladoceren); Copepoda: KIEFER (1973), KIEFER & FRYER (1978), EINSLE (1993).

Bei den Rotatorien wurde die Gattung *Collotheca* nicht weiter aufgespalten, da hier die wesentlichen Merkmale für eine Artbestimmung durch die Fixierung der Tiere nicht zugänglich sind. Bei der Gattung *Synchaeta* wird zwischen den großen Formen (in den vorliegenden Proben *S. pectinata*) und kleinen Synchaeten (*S. tremula* / *S. oblonga* / *S. lakowitziana* Gruppe) differenziert. „Synchaeten“ waren im aktuellen Jahr 2016 in den Proben nicht vorhanden, aber im Jahr 2015 durchaus präsent. Für die Abgrenzung von „Arten“ innerhalb der Gattung *Polyarthra* wurde nach einer Graphik aus STEMBERGER (1979) verfahren: Individuen mit deutlich über körperlangen Schwimmflossen und einer Körperlänge von \leq ca. 100 μ m wurden als *P. remata* determiniert; Individuen mit etwa körperlangen bzw. deutlich über körperlangen Schwimmflossen und einer Körperlänge zwischen ca. 100 und 150 μ m wurden als *P. vulgaris* bzw. *P. dolichoptera* bestimmt und Individuen \geq 150 mit ca. körperlangen, breiten bzw. sehr breiten Schwimmflossen wurden als *P. major* bzw. *P. euryptera* bestimmt.

Cladoceren wurden bis zur Art bestimmt. Intermediäre Morphen („Hybride“) werden – soweit möglich – ebenfalls zugeordnet. Aufgrund der unsicheren „Position“ der Hybriden wird aber bei den Daphnien konservativ verfahren; d.h. Hybride werden – wenn möglich – vermieden. In den angelieferten Proben war aber nur das gut bestimmbare Taxon *Daphnia cucullata* vorhanden, so dass keine Probleme bei der Artbestimmung auftraten. Copepoden wurden immer bis zur Art bestimmt und die Copepodidstadien wurden soweit möglich der jeweiligen Art zugeordnet. Eine Ausnahme bei der Copepodid-Zuordnung machen in einigen (schwierigen) Fällen die ersten Copepodide; diese wurden (falls die Zuordnung unsicher war) der aspektbestimmenden Art zugeschlagen. Lediglich die Trennung der Copepodidstadien von *Eudiaptomus gracilis* und *E. graciloides* ist bislang nicht möglich (KIEFER & FRYER 1978). Diese werden (bei starkem Auftreten beider Arten) als calanoide Copepodide zusammengefasst, oder (im Falle, dass eine der beiden Arten sehr selten war) der dominanten Art zugeschlagen. Nauplien wurden nach Calanoiden und Cyclopoiden differenziert. Bei den angelieferten Proben waren allerdings keine calanoiden Copepoden vorhanden. Unterarten (z.B. innerhalb der Gattungen *Keratella* oder (*Eu*)*Bosmina*) wurden ebenfalls berücksichtigt. Sofern notwendig wurden kritische Taxa mittels präparativer Methoden abgesichert (z.B. P5 Präparation etc. bei Copepoden). Informationen zu Indikatorarten wurden z. B. den Arbeiten GLIWICZ (1969), KARABIN (1983), GANNON & STEMBERGER (1978), GELLER & MÜLLER (1981) oder MAIER (1996) entnommen.

Zählung, Zählkategorien

Bei den Rotatorien liegen Messungen für jedes Taxon aus früheren Projekten (ARP & DENEKE 2006, 2007) vor, die übernommen wurden. Eine Festlegung von Zählkategorien / Größenklassen erfolgte für größenvariable Crustaceen. Bei den Cladoceren wurden je nach Taxon 2 – 6 Größenklassen (in ca. 300 μ m Abständen) unterschieden. Beispielsweise wurden jeweils für kleine (z.B. *D. cucullata*) sowie für mittelgroße Daphnien (*D. galeata* / *hyalina*) 2 Juvenilstadien und mindestens 3 Adultstadien differenziert. Bei Copepoden wurden neben den Nauplien alle 5 Copepodidstadien, Männchen und Weibchen separat gezählt. Für die Größenklassendifferenzierung der Cladoceren wurde ein Okular mit Gitternetz verwendet, das vorher mittels eines Objektmikrometers geeicht wurde. Für sehr große Zooplankter

(Raubcladoceren), die mittels des relativ kleinen Probenahme-Netzes nur halbquantitativ erfasst werden, wurde eine durchschnittliche Größe ermittelt. Zur Ermittlung der Abundanz der Raubcladoceren wurde die gesamte Probe herangezogen; d.h. die Probe wurde nochmals über das 30 µm Sieb dekantiert, anschließend in Petrischalen verteilt und komplett nach Raubcladoceren durchsucht. Die Anwesenheit von *Chaoborus* spp. wurde jeweils notiert und die in der Probe vorhandenen Larven wurden ebenfalls gezählt. Die Abundanzen der Arten / Zählkategorien wurden unter Berücksichtigung der Netzgeometrie (Öffnungsdurchmesser, Radius) bzw. des Schöpferinhaltes und der Verdünnung im Labor hochgerechnet.

Biomasse

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Trockengewichte für Rädertiere orientieren sich an früheren Studien zum Zooplankton von Seen in Schleswig Holstein (z.B. ARP & DENEKE 2006.). Angaben zum Biovolumen finden sich z.B. in Ruttner-Kolisko 1977. Bei Cladoceren wurde für jede Gattung (jeden „Morphotyp“: *Daphnia* vs. *Bosmina* vs. *Eubosmina* vs. *Ceriodaphnia* vs. *Diaphanosoma*) verschiedene Formeln verwendet und damit die Trockenmasse für jede Zählkategorie / Größenklasse innerhalb der Gattung errechnet (vgl. Bottrell et al. 1976, MCCAULEY 1984 sowie PADISÁK & ADRIAN in TÜMLING & FRIEDRICH 1999). Bei Copepoden wurden für Calanoide, kleine Cyclopoide und große Cyclopoide unterschiedliche Formeln (Längen-Gewichts-Regressionen) auf die Zählkategorien verwendet, wobei Formeln aus Bottrell et al. (1976) verwendet wurden. Die verwendeten Formeln wurden vorab auf ihre Plausibilität geprüft; d.h. die daraus errechneten Ergebnisse wurden mit Literaturdaten verglichen (z.B. mit den Angaben in DUMONT et al. 1975, Stich & Maier 2012). Für Raubcladoceren werden mittlere Trockengewichte aus GARTON & BERG (1978) und BURKHARDT (1994) – *Bythotrephes*, bzw. CUMMINS et al. (1969) – *Leptodora* verwendet.

Größenindex

Als mögliches Maß für Top-Down Effekte wurde in Anlehnung an ARP & DENEKE (2007) der **Cladoceren-Größenindex** (GIC bzw. nach Phytoloss auch MCM genannt) berechnet, da Cladoceren in der Regel den größten Fraßdruck auf das Phytoplankton ausüben können. Dieser Index errechnet sich für jeden Termin als Quotient aus der summierten Biomasse und der summierten Abundanz der Cladoceren. Die Abschätzung der „top-down“ Effekte durch Fischfraß mittels GIC bzw. MCM basiert v. a. auf den in der Literatur beschriebenen Fakten, dass Fische große, wenig fluchtfähige und auffällig gefärbte Individuen selektieren. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass das Größenspektrum u. a. auch „bottom up“ gesteuert wird. Unterschreitet der GIC im Sommer (zur Zeit des stärksten Fisch-Prädationsdruckes) $6 \mu\text{g L}^{-1}$ (das Gewicht einer 1 mm langen Daphnie), so wird der Prädationsdruck durch Fische als mindestens moderat eingestuft.

Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse

Zur Abschätzung der Verwertung des Phytoplanktons durch das Zooplankton wurde in Anlehnung an JEPPESEN et al. (1997) bzw. DENEKE et al. (2016) das **Z/P-Verhältnis** für jeden Termin errechnet. Unter der Annahme, dass Cladoceren und Copepoden pro Tag 100 bzw. 50 % ihres Körpergewichts als Nahrung zu sich nehmen (JEPPESEN et al. 1997), kann aus der Zooplankton- und Phytoplankton-Biomasse eine hypothetische konsumierte Phytoplankton-Biomasse pro Zeiteinheit berechnet werden, die Aufschluss über den Umsatz bzw. die Grazingrate gibt. Diese Z/P-Rate wird in Prozent konsumierte Biomasse pro Tag angegeben. Für

Z/P wird hier auf der Basis des Biovolumens gerechnet, wobei nur das ermittelte Trockengewicht der Crustaceen in Biovolumen umgerechnet wird ($TG = \text{Biovolumen} * 0,1$). Die Biomasse der Rädertiere und des Phytoplanktons werden ohnehin direkt im Biovolumen angegeben. Niedrige Z/P-Relationen ergeben sich z.B., wenn das Phytoplankton aus schlecht verwertbaren Algen (z.B. Cyanobakterien, Dinophyceen) besteht.

6.3 Artenliste Phyto- und Zooplankton

Artenliste Phytoplankton Caputher See 2017 (nach Algenklassen sortiert)

Taxon-ID	DV_Nr	TAXONNAME	Autor	Algenklasse
349	6410	Fragilaria ulna angustissima - Sippen	sensu Krammer & Lange-Bertalot	Bacillariophyceae
829	6789	Zentrale Diatomeen 10-15µm	G.Karsten	Bacillariophyceae
833	6789	Zentrale Diatomeen 15-20µm	G.Karsten	Bacillariophyceae
840	6789	Zentrale Diatomeen 5-10µm	G.Karsten	Bacillariophyceae
117	7021	Chlamydomonas	Ehrenberg	Chlorophyceae
468	7245	Monoraphidium contortum	(Thuret) Komárková-Legnerová	Chlorophyceae
471	7913	Monoraphidium komarkovae	Nygaard	Chlorophyceae
639	7049	Scenedesmus acuminatus	(Lagerheim) Chodat	Chlorophyceae
669	7010	Scenedesmus quadricauda	(Turpin) Brébisson sensu Chodat	Chlorophyceae
751	7281	Tetraedron minimum	(A.Braun) Hansgirg	Chlorophyceae
786	7022	Unbestimmte Chlorococcales	(Marchand) Pascher	Chlorophyceae
296	7925	Dinobryon bavaricum	Imhof	Chrysophyceae
236	7032	Cryptomonas 30-35µm	Ehrenberg	Cryptophyceae
222	7032	Cryptomonas erosa/ovata/phaseolus	Ehrenberg	Cryptophyceae
1013	7603	Cryptomonas platyuris	Skuja	Cryptophyceae
628	7868	Rhodomonas lacustris	Pascher & Ruttner	Cryptophyceae
1503	8807	Anabaena bergii	Ostenfeld	Cyanobacteria
55	8096	Aphanizomenon gracile	Lemmermann	Cyanobacteria
267	8828	Cylindrospermopsis raciborskii	(Wołoszyńska) Seenayya & Subbaraju	Cyanobacteria
431	8208	Limnothrix planctonica	(Wołoszyńska) M.E.Meffert	Cyanobacteria
432	8434	Limnothrix redekei	(Goor) M.E.Meffert	Cyanobacteria
448	8025	Merismopedia	Meyen	Cyanobacteria
580	8818	Planktolyngbya limnetica	(Lemmermann) Komárková-Legnerová & Cronberg	Cyanobacteria
584	8438	Planktothrix agardhii	(Gomont) Anagnostidis & Komárek	Cyanobacteria
594	8008	Pseudanabaena catenata	Lauterborn	Cyanobacteria
596	8206	Pseudanabaena limnetica	(Lemmermann) Komárek	Cyanobacteria
390	7512	Gymnodinium	F.Stein	Dinophyceae
555	7077	Peridinium	Ehrenberg	Dinophyceae
557	7077	Peridinium klein (<25µm)	Ehrenberg	Dinophyceae
853	17098	Wołoszynskia	R.H.Thompson	Dinophyceae
326	7016	Euglena	Ehrenberg	Euglenophyceae

Taxon-ID	DV_Nr	TAXONNAME	Autor	Algenklasse
322	7037	Euglena acus	Ehrenberg	Euglenophyceae
569	7059	Phacus	Dujardin	Euglenophyceae
568	7997	Phacus pyrum	(Ehrenberg) F.Stein	Euglenophyceae
997	7882	Trachelomonas oblonga	Lemmermann	Euglenophyceae

Artenliste Zooplankton: Caputher See 2017

DV Nr.	Taxa	Erstbeschreiber
DV-Nr.	Protozoa	
3923	Ciliophora	
	Rotatoria	
5975	Anuraeopsis fissa	(GOSSE)
5096	Ascomorpha ecaudis	(PERTY)
5926	Ascomorpha saltans	(BARTSCH)
5098	Asplanchna priodonta	(GOSSE)
5025	Brachionus quadridentatus	(HERMANN)
5974	Collotheca	(HARRING)
5148	Filinia longiseta	(EHRENBERG)
5163	Kellicottia longispina	(KELLCOTT)
5331	Keratella cochlearis	(GOSSE)
5165	Keratella cochlearis tecta - Reihe	
5166	Keratella quadrata	(O.F.MUELLER)
5202	Polyarthra dolichoptera	(IDELSON)
5326	Polyarthra remata	(SKORIKOV)
5204	Polyarthra vulgaris	(CARLIN)
5234	Pompholyx sulcata	(HUDSON)
5054	Synchaeta	(EHRENERBG)
5213	Trichocerca capucina	(WIERZEJSKI & ZACHARIAS)
5919	Trichocerca pusilla	(LAUTERBORN)
5917	Trichocerca similis	(WIERZEJSKI)
5189	Trichocerca sp.	(LAMARCK)
	Cladocera	
5099	Bosmina coregoni coregoni	(BAIRD)
5100	Bosmina longirostris	(O.F.MUELLER)
5110	Ceriodaphnia pulchella	(SARS)
5111	Ceriodaphnia quadrangula	(O.F.MUELLER)
5116	Chydorus sphaericus	(O.F.MUELLER)
5136	Diaphanosoma brachyurum	(LIEVIN)
5160	Leptodora kindtii	(FOCKE)
	Copepoda	
5144	Eudiaptomus gracilis	(SARS)
5123	Cyclops vicinus	(ULJANIN)
5134	Diacyclops bicuspidatus	(CLAUS)
5175	Mesocyclops leuckarti	(CLAUS)
5217	Thermocyclops crassus	(FISCHER)
15284	Thermocyclops oithonoides	(SARS)
	Sonstige	
1097	Dreissena polymorpha	
481	Chaoborus	(LICHTENSTEIN)

6.4 Vergleich trophischer Parameter von 2012 sowie 2014 bis 2017

Tab. 4: Vergleich der TP-, Chl.a- und Min- und Max.-Biovolumens-Einzelwerte aus ähnlichen Zeiträumen 2012, sowie 2014 bis 2017 für den Caputher See.

ST - Sichttiefe, Chl a - Chlorophyll a, BV = Biovolumen, TP - Gesamt-Phosphor der euphotischen Zone,

Jahr	betrachtete Monate (Anzahl Proben)	ST m	Chl a $\mu\text{g/l}$	BV mm^3/l	TP mg/l	Chl.a/TP	Datenquelle
2012	Aug. – Okt. (3)	0,8 – 1,0	28 – 80	8,0 – 10,5	0,024 – 0,041	0,7 – 2,3	LUGV
2014	Aug. + Okt. (2)	0,8	44 – 62	6,5 – 9,4	0,051 – 0,065	0,7 – 1,2	Verein Caputher See e.V.
2015	Ende Juli.- Okt (3)	0,7 – 1,0	37 – 83	7,8 – 16,0	0,033 – 0,039	1,1 – 2,2	LUGV
2016	Aug. - Okt. (3)	0,8 – 0,85	44 – 51	7,2 – 11,3	0,080 – 0,101	0,5 – 0,6	WÖBBECKE et al. 2016
2017	Mitte Juni –Okt. (4)	0,75-0,80	36 - 79	7,2 – 12,5	0,042 - 0,124	0,35-1,6	DIESER BERICHT