

1.1 Caputher See

1.1.1 Chemie und vor Ort Parameter

Der annähernd 50 ha große Caputher See ist bei einer mittleren Tiefe von 3,4 m in weiten Bereichen recht flach; die tiefste Stelle von 9,2 m liegt in der Nordspitze. Der Caputher 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.

Tab. 12: Physikalisch-chemische Parameter im Caputher See, März bis Oktober 2015, Mittelwert, Minima, Maxima der euphotischen Zone sowie TN und TP über Grund an den Tagen mit stabiler Schichtung.

		Mittelwert	Minimum	Maximum
Sichttiefe	m	0,8	0,6	1,0
Chlorophyll a	$\mu\text{g l}^{-1}$	54	37	84
SSI im Oberflächenwasser	%	116	67	150
pH im Oberflächenwasser		---*	8,0	8,7
Elektrische Leitfähigkeit	$\mu\text{S cm}^{-1}$	368	324	394
TP (über Grund, n = 3)	mg l^{-1}	0,043 (0,066)	0,033 (0,059)	0,058 (0,078)
PO ₄ -P	mg l^{-1}	---**	< 0,003	0,010
TN (über Grund, n = 3)	mg l^{-1}	1,6 (6,3)	1,4 (2,2)	1,9 (8,5)
NH ₄ -N	mg l^{-1}	0,121	<0,010	0,400
NO ₃ -N	mg l^{-1}	---**	0,005	0,150
SiO ₂ -Si	mg l^{-1}	4,7	2,4	6,6
SBV (KS 4,3)	mmol l^{-1}	2,7	2,5	2,9
Ca ⁺⁺	mg l^{-1}	64	57	72
Mg ⁺	mg l^{-1}	6,8	5,9	7,4
Na ⁺	mg l^{-1}	13	11	15
K ⁺⁺	mg l^{-1}	2,6	1,9	3,0

* Wegen der logarithmischen Skalierung ist eine Mittelwert-Bildung nicht sinnvoll
 ** an drei Tagen < BG

Mit einem Säurebindungsvermögen (SBV) von 2,7 mmol l^{-1} (Mittelwert) war der See gut gepuffert, die pH-Werte im Oberflächenwasser schwankten zwischen 8,0 und 8,7.

Der Caputher See wies 2015 eine nur schwach ausgeprägte Temperaturschichtung auf, die aber bereits Ende April zu deutlichen Sauerstoffdefiziten im Metalimnion und Sauerstofffreiheit in den letzten Metern über Grund geführt hatte. Im Juni herrschte bereits ab 4 m Wassertiefe Sauerstofffreiheit. Durch Absinken des Metalimnions war Anfang September die sauerstofffreie Zone verkleinert. Das Redoxpotential war jetzt zwar ins Negative gesunken, war aber noch weit vom kritischen Potential von -300 mV entfernt. Im Oberflächenwasser wurden zeitweilig starke Sauerstoffübersättigungen (maximal 160 %) gemessen. Mitte Oktober war der See wieder voll durchmischt, dabei herrschte im gesamten Wasserkörper mit nur etwa 67 % eine starke Sauerstoffuntersättigung.

Die maximale Sichttiefe betrug im Caputher See nur 1,0 m.

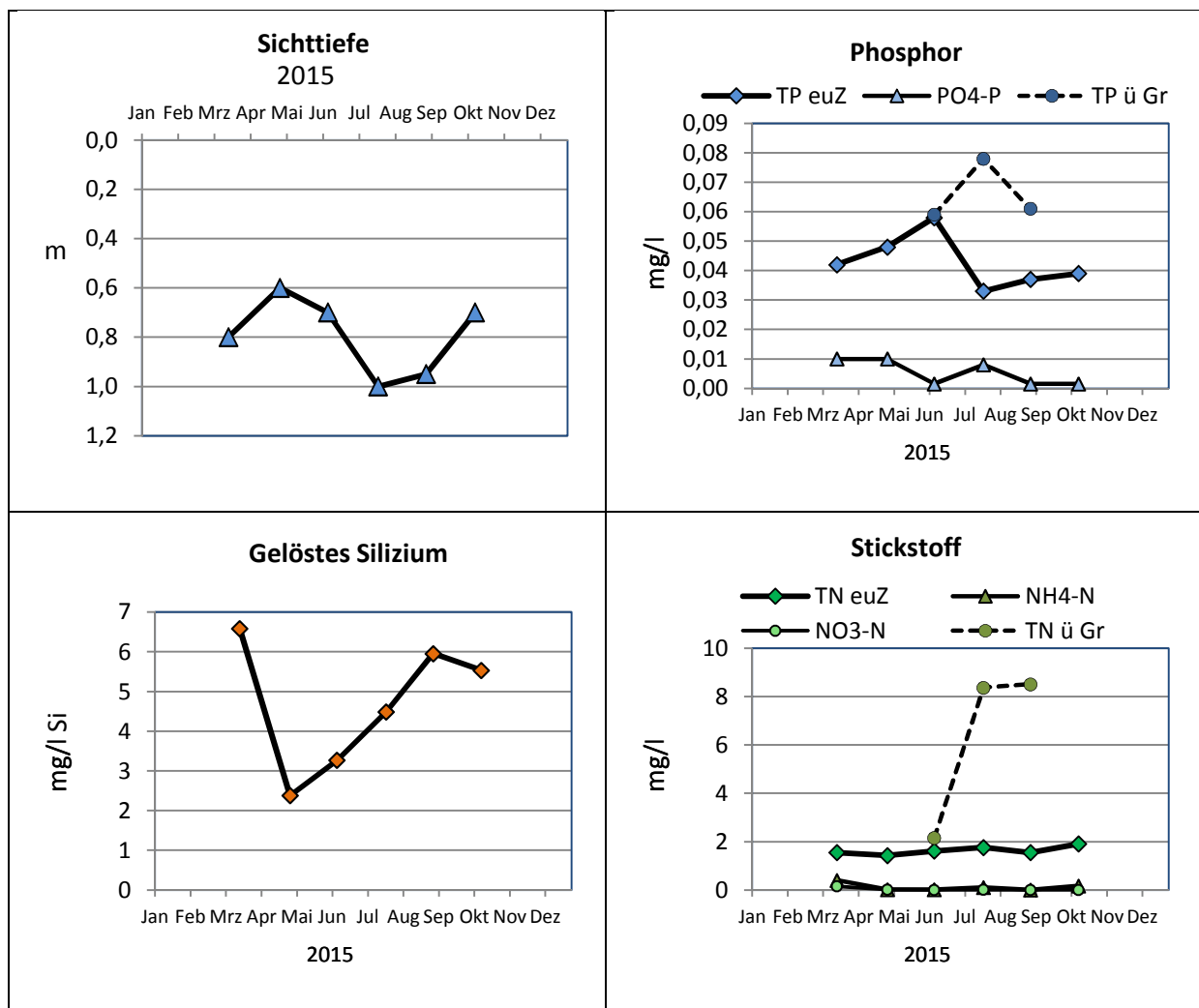


Abb. 2: Sichttiefen und Nährstoffe im Caputher See. Wenn nicht anders vermerkt, beziehen sich die Konzentrationen auf die euphotische Zone. „TP ü Gr“ und „TN ü Gr“: Konzentrationen aus 1 m über Grund.

Die Gesamtphosphorkonzentrationen stiegen in der euphotischen Zone bis zum Juni noch an und sanken dann wieder auf das Niveau vom Frühjahr. Der Anstieg der TP-Konzentrationen über Grund war vergleichsweise gemäßigt. Anorganisch gelöster Phosphor war in der euphotischen Zone nur an drei Messtagen messbar.

Der Gesamtstickstoff zeigte nur geringe Schwankungen. Über Grund stieg er ab Juli deutlich stärker an als der Phosphor und erreichte mit über 8 mg N l^{-1} sehr hohe Werte. In der euphotischen Zone hatten nur im Frühjahr Nitrat mit $0,150 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$ und Ammonium-N mit $0,40 \text{ mg l}^{-1} \text{ N}$ einen höheren Anteil.

Die Konzentrationen an gelöstem Silizium fielen im April stark ab, stiegen dann bis zum Herbst aber wieder auf sehr hohe Konzentrationen von 6 mg l^{-1} .

1.1.2 Phytoplankton

Zwischen März und Oktober 2015 wurden 6 tiefenintegrierte Mischproben aus der euphotischen Zone (0 – 1,5 m bis 0 - 2,5 m) entnommen. Der stark eutrophierte Caputher See wies im Mittel hohe Phytoplanktongehalte auf ($54 \mu\text{g l}^{-1} \text{ Chl.a}$ und $14,2 \text{ mm}^3 \text{ l}^{-1}$ Plankton-Biovolumen), mit den höchsten Werten im Frühjahr und Oktober. Es dominierten im gesamten Untersuchungszeitraum deutlich Bacillariophyceen (Kieselalgen) im Frühjahr und Cyanobakterien (Blaualgen), insbesondere dünnfädige Oscillatoriales, im Sommer und Herbst (Abb. 3).

Der Umsatz von Phosphor in Phytoplanktonbiomasse war insgesamt hoch und im Frühjahr und Herbst besonders ausgeprägt. Im Mittel lag der Quotient Chl.a/TP bei 1,3 und damit deutlich über dem der anderen 12 Untersuchungsgewässern (im Mittel 2- bis 10fach höher). Nach NIXDORF et al. (2009) kann die Ressourceneffizienz bei einem Wert für Chl.a/TP von 1 und höher als hoch angesehen werden.

Während im März und April deutlich stäbchenförmige Kieselalgen (Pennales) mit Arten der *Fragilaria ulna angustissima*-Sippe, die eine hohe Trophie indizieren, und einer kleinen *Fragilaria*-Art dominierten (zusammen > 70 % der Gesamtbiomasse), waren centrische Diatomeen nur subdominant vertreten. Hauptvertreter war hier *Cyclotella balatonis*. Fädige Blaualgen, u.a. *Limnothrix redekei* und *Pseudanabaena limnetica*, waren zu dieser frühen Jahreszeit vorerst nur subdominant vertreten, wobei jedoch im April der Anteil der letztgenannten Art bereits 15 % an der Gesamtbiomasse betrug.

Anfang Juni dominierten erstmalig im Jahresverlauf Cyanobakterien; wie in den Jahren zuvor handelte es sich um dünnfädige Arten. Die Hauptarten waren *Aphanizomenon gracile* (46 % an der Gesamtbiomasse) und *Pseudanabaena limnetica* mit nun 38 % Anteil.

Auszug vorab aus Bericht „Monitoring von Plankton und Limnochemie gemäß EU-WRRL in 13 Seen in Brandenburg“ von Arp, Koppelmeyer, Maier, Michels & Wöbbecke 2016 (Bericht für das LfU Potsdam)

Die Dominanz dieser beiden Arten hielt bis zum Herbst, wobei die sehr dünnfädige Art *Pseudanabaena limnetica* zunehmend die Oberhand bekam. Andere fädige Blaualgen-Arten traten im Sommer und Herbst hinzu, besonders die ebenfalls sehr dünnfädige Form *Limnothrix planctonica*, die im Oktober 33 % Anteil aufwies.

Als Indikatorart mit hohem Trophiewert trat neben den oscillatorialen Arten regelmäßig noch *Phacus pyrum* aus der Gruppe der Euglenophyceen (Augenflagellaten) auf, jedoch in sehr geringer Anzahl.

Die Probe der Profundaldiatomeen vom 13.10.2015 spiegelte bei den dominanten Arten die Verhältnisse im Pelagial 2015 wieder. Hauptvertreter im Profundalschlamm waren deutlich Vertreter der *Fragilaria ulna angustissima* – Sippe (68 %) und in geringerem Maß *Cyclotella balatonis* (18 % Anteil).

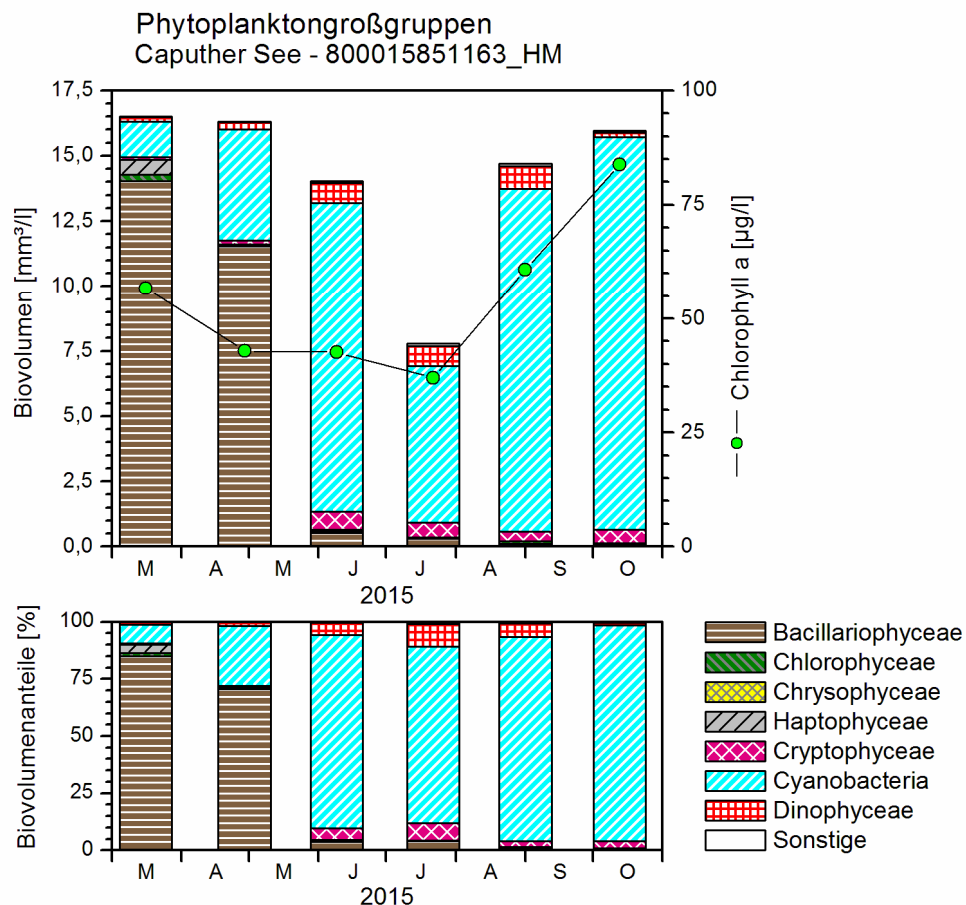


Abb. 3: Phytoplankton-Großgruppen und Chlorophyll a im Caputher See 2015.

Oben: Absolute Werte für das Biovolumen und Chlorophyll a.

Unten: Prozentuale Anteile des Biovolumens.

1.1.3 Zooplankton

Der Caputher See ist mit insgesamt 41 Metazooplanktontaxa (28 Arten Rädertiere, 7 Arten Wasserflöhe, 6 Arten Ruderfußkrebse) hinsichtlich des Artenreichtums als moderat zu bezeichnen. Taxonomische Besonderheiten waren nicht erkennbar. Zu erwähnen ist allerdings die deutliche Präsenz einiger Eutrophierungszeiger, wie *Brachionus*-Arten (z.B. *B. calyciflorus*, *B. diversicornis*) bei den Rädertieren oder *Cyclops vicinus* bei den Ruderfußkrebsen. Unter der Kategorie „Sonstige“ waren Larven der Dreikantmuschel sowie Büschelmücken-Larven vorhanden.

Bei den **Rädertieren (Rotatoria)** dominierten im Frühjahr die *Keratella*-Arten (*K. cochlearis* und *K. quadrata*). Daneben war *Filinia terminalis* noch stark vertreten. Den Sommer-/Herbstaspekt bestimmten *Synchaeta*-Arten, Flossenrädertiere (*Polyarthra* spp.) und die von einer Gallerthülle umgebenen Rädertiere der Gattung *Collotheca*.

Wasserflöhe (Cladoceren) waren im Frühjahr schwach vertreten; im Sommer war *Daphnia cucullata* die Hauptart der Cladoceren. Im Herbst kamen kleinere Taxa (z.B. *Ceriodaphnia* spp.) hinzu. Bei den **Ruderfußkrebsen (Copepoden)** war im Frühjahr der bereits genannte *Cyclops vicinus* stark vertreten. In der warmen Jahreszeit dominierten *Diacyclops bicuspidatus* und *Mesocyclops leuckarti*. Calanoide Ruderfußkrebse waren praktisch nicht vorhanden.

Die Biomasse des gesamten Zooplanktons lag im Mittel (Median) – trotz Eutrophierungszeigern - bei nur 128 (maximal 206) µg TM/L (Gesamtmittel) bzw. 1,37 mm³ BV/L (Sommermittel). Trotz dieser vergleichsweise niedrigen Zooplanktonmasse wiesen der sehr hohe Anteil der Rädertiere (19 %) und der omnivoren cyclopoiden Ruderfußkrebse (75 %) an der Gesamt-Trockenmasse des Zooplanktons bzw. der niedrige Anteil der Wasserflöhe und calanoiden Ruderfußkrebse deutlich in die nährstoffreichere Richtung.

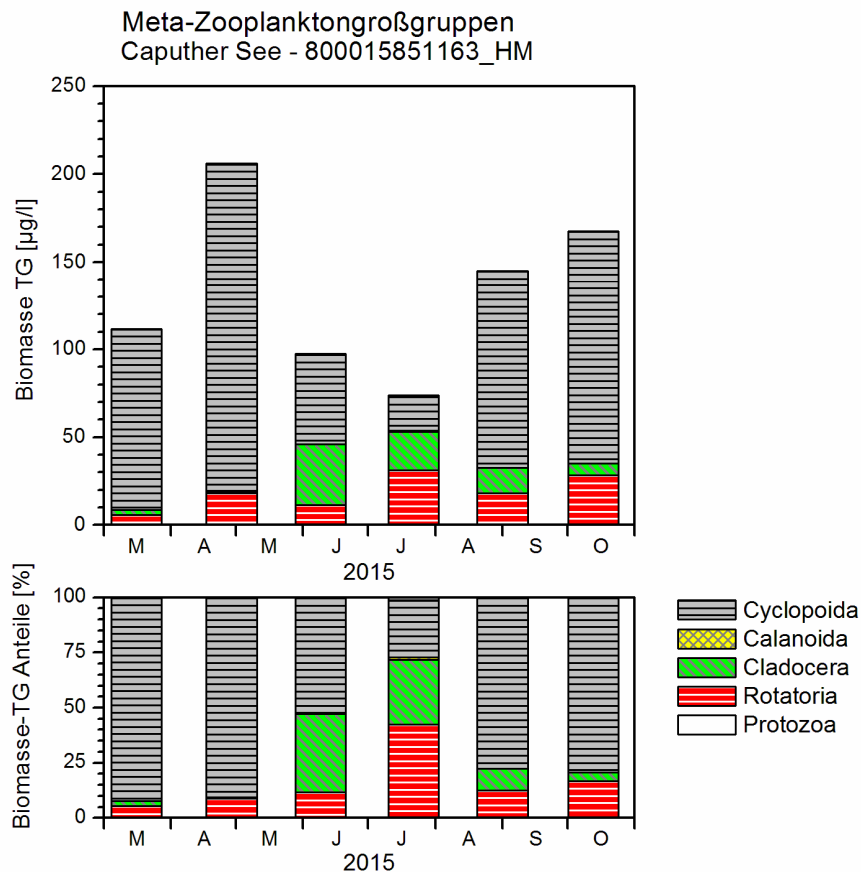


Abb. 4: Biomasse (Trockengewicht) des Zooplanktons für den Caputher See 2015. Oben: Absolute Biomassengehalte. Unten: Prozentuale Anteile.

Im Rahmen der EU-WRRL wurde zur Komplettierung des planktischen Nahrungsnetzes das PhytoLoss-Verfahren eingeführt (u.a. DENEKE, MAIER & MISCHKE, 2015). Es dient als Interpretationshilfe für die Bewertungsergebnisse des obligaten Phyto-See-Indexes mithilfe von Zooplankton-Indizes. Es wurden u.a. 6 Indices berechnet, die für den Caputher See kurz beschrieben werden und in einem Radardiagramm anschaulich dargestellt werden (Abb. 5):

- Die Futterqualitätsindizes (**FQI** für das Metazooplankton und **FQIC** für die Cladoceren) lagen mit Effektklassen von ca. 1,5 bis 2 im niedrigen Bereich, was bedeutet, dass die Futterzusammensetzung für das Zooplankton ungünstig war.
- Entsprechend niedrig war der Umsatz von Phytoplankton in Zooplanktonmasse (**Z/P** = Effektklasse 1 bzw. im gesamten Untersuchungszeitraum $<3\% \text{ d}^{-1}$).
- Ebenfalls niedrig waren die Grazing-Indizes (**MGI** = Metazooplankton-Grazing-Index und **CGI** = Cladoceren-Index), was auf die hohe Dichte der schlecht fressbaren

fädigen Blaualgen und die damit verbundene deutliche Präsenz der wenig effektiv fressenden, kleineren Wasserflöhe sowie die deutliche Präsenz der omnivoren, cyclopoiden Ruderfußkrebse zurückzuführen ist, die nicht filtrieren.

- Der Cladoceren-Größenindex (=MCM = Mittlere Cladoceren-Biomasse) mit durchschnittlich 3,3 µg TM/Ind. (Gesamtmedian und Sommermittel) bzw. mit Effektklasse 4 (MCM) indiziert mittlere bis deutliche Fischfraß-Effekte.

Der im Radardiagramm eingezeichnete Kreis für den Caputher See (Abb. 5) ist insgesamt, verglichen mit den anderen Flachseen des Untersuchungsprogramms (Gr. Tietzensee, Kl. Krukowsee, Giesenschlagsee Süd), im Durchmesser sehr klein und zeigt die starke Störung des Systems an.

Die Gelegegröße der größeren Filtrierer (Daphnien) war (aufgrund der ungünstigen Futterqualität) mit durchschnittlich 3,1 Eiern pro gelegtragendem Weibchen niedrig. Deutlich hohe Eizahlen wiesen aber – sicherlich aufgrund der hohen Dichte der Beuteorganismen (Rädertiere) – die omnivoren bis räuberischen cyclopoiden Ruderfußkrebse auf. Für *Cyclops vicinus* wurden z.B. durchschnittlich 80 Eier pro gelegtragendem Weibchen, für *Diacyclops* 22 bis 40 Eier pro gelegtragendem Weibchen registriert.

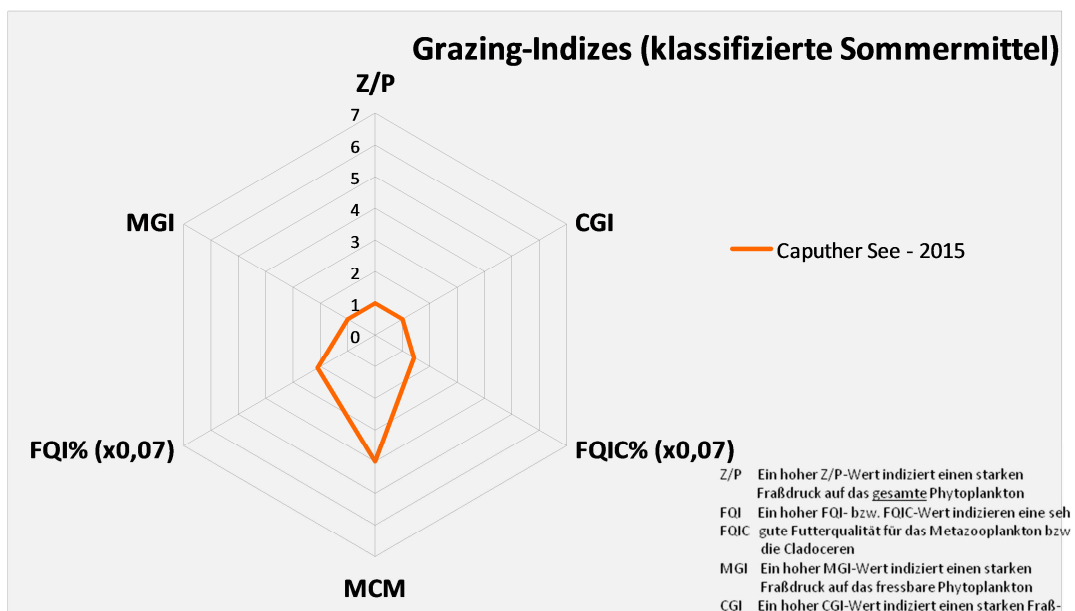


Abb. 5: Radardiagramm ausgewertet über das Phytoloss-Modul nach DENEKE, MAIER & MISCHKE (2015). **Z/P** charakterisiert den Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse; **MGI und CGI** charakterisieren den Fraßdruck des Zooplanktons auf das fressbare Phytoplankton; **FQI und FQIC** beschreiben die Futterqualität für das Zooplankton; der **MCM** wird als Maß für den Fischprädatationsdruck auf das Zooplankton verwendet.

1.1.4 Diskussion

Der Vergleich der Trophieparameter Sichttiefe, Phosphor und Chlorophyll a der letzten etwa zwei Jahrzehnte im Caputher See zeigt insgesamt geringe Veränderungen der Trophie. Der Vergleich der verschiedenen Jahre (es wurden nur die Monate Juni bis Oktober verwendet, da in diesem Zeitraum die meisten Messungen vorliegen) zeigt ein stets hohes trophisches Niveau mit geringen Schwankungen, die eher witterungs- und/oder methodenbedingt sind (Tab. 13).

Phytoplankton

Beim Phytoplankton dominierten in allen untersuchten Jahren im Sommer und Herbst feinfädige Blaualgen, wobei das Artenspektrum in den Jahren, in denen qualitativ genauer untersucht wurde (2012, 2014 und 2015), identisch ist. Der Phosphor wurde dabei sehr effizient in Algenbiomasse umgesetzt (Vergleich mit anderen Gewässern eigener Untersuchungen).

Allgemein wird in polymiktischen Seen dieses trophischen Typs, insbesondere bei Dominanz von fädigen Blaualgen, bei genügend Lichtangebot Phosphor meist effizient in Algenbiomasse umgesetzt. Selbst bei weiterer Phosphorreduzierung gibt es in diesen Seen nur sehr langsam Veränderungen der Dominanz der fädigen Blaualgen, wie am Beispiel Großer Seddiner See oder auch in Seen im Scharmützelseegebiet zu sehen ist, da die Blaualgen die abnehmenden Phosphorgehalte durch eine effizientere P-Ausnutzung kompensieren (NIXDORF et al. 2009).

Zwei zu vermutende Gründe für die hohe Resistenz der fädigen Blaualgen können genannt werden:

- Fäden haben eine im Verhältnis zum Zellvolumen sehr große Oberfläche. Je dünner der Faden ist, desto höher ist der Quotient Zelloberfl/Zellvolumen. Der Quotient ist um ein Vielfaches höher als der Quotient bei anderen typischen Algenformen wie Schlundalgen, Flagellaten oder coccalen Grünalgen. Das begünstigt die Aufnahme der Nährstoffe durch die Zelloberfläche.
- Hinzu kommt die schlechte Fressbarkeit durch die Crustaceen. Bei den Cladoceren gilt allgemein als Grenzgröße für das unselektive Filtrieren ca. 30 µm. Bei Cyclopiden, der Hauptgruppe des Zooplanktons im Caputher See, kann die Maximalgröße der Beute größer sein. Cyclopiden, die omnivor sind, fressen zudem jedoch selektiv („Greifer“) und sind daher nicht sehr effektiv. Neben ausgewählten Algen fressen sie

Auszug vorab aus Bericht „Monitoring von Plankton und Limnochemie gemäß EU-WRRL in 13 Seen in Brandenburg“ von Arp, Koppelmeyer, Maier, Michels & Wöbbecke 2016 (Bericht für das LfU Potsdam)

besonders Rädertiere, Ciliaten und tierische Flagellaten. Die Blaualgenfäden im Caputher See haben in der Regel eine Mindestlänge von etwa 100 µm.

Dies bedeutet, dass die fädigen Blaualgen nur bei deutlicher Phosphorreduzierung bzw. bei Etablierung und Ausdehnung von submersen Makrophyten spürbar zurückgehen werden, wie das Beispiel Rangsdorfer See zeigt. In diesem See führte ein winterliches Massenfischsterben zu einer deutlichen Zunahme der submersen Makrophyten und dem Verschwinden der fädigen Blaualgen (ARP & KOPPELMEYER 2012).

Tab. 13: Vergleich der Mittelwerte Juni bis Oktober und der Trophie der 1990er Jahre (1992-1996) sowie 2009, 2012 und 2015 für den Caputher See.- ST - Sichttiefe, Chl a - Chlorophyll a, TP - Gesamt-Phosphor, PO₄-P - gelöster reaktiver Phosphor, TI - Trophie-Index

Jahr	ST m	Chl a µg/l	TP mg/l	PO ₄ -P mg/l	TN mg/l	BV mm ³ /l	TI	Trophie	Quelle
1992-1996*	0,7	62	0,058	0,027	1,3		3,7	polytroph 1	GU G E. V. 1997
2009**	1,0	35	0,046	0,004	1,7	-	3,1	eutroph 2	ARP & KOPPELMEYER 2010
2012**	1,0	42	0,034	0,003	1,0	8,6	3,1	eutroph 2	ARP, KOPPELMEYER & WÖBBECKE. 2013
2015**	0,8	56	0,042	0,003	1,7	13,1	#	#	DER VORLIEGENDE BERICHT (ARP et al. 2016)

* Mittelwerte der Sommermittelwerte der vier Jahre, Proben aus 0,5 m Wassertiefe

** integrierte Proben aus der euphotischen Zone

wurde nicht ermittelt

Zooplankton

Die letzten Zooplankton-Untersuchungen wurden 2014 durchgeführt (gleiche Labor- und Feldmethodik, gleicher Bearbeiter), wobei jedoch nur 2 Proben vom August und Oktober entnommen und analysiert wurden (ARP et al. 2014).

Wegen der geringen Probenanzahl im Jahr 2014 ist ein Vergleich nur eingeschränkt möglich. Die Daten zeigen keine deutlichen Veränderungen beim Zooplankton von 2014 zu 2015, sowohl bei den wichtigen Arten als auch in der Biomasse. In Relation zum Phytoplankton wurden in beiden Jahren sehr geringe Biomassen gefunden und die Cladoceren wiesen eine

geringe Körpergröße auf. Der Umsatz von Phyto- in Zooplankton lag 2014 bei ca. 1 % d⁻¹, 2015 bei 1,5 – 2,8 % d⁻¹. Diese geringe Zunahme ist zu vernachlässigen, wenn man die Werte anderer Gewässer geringerer Trophie sieht, in denen der Umsatz von Phytoplankton- in Zooplanktonmasse um ein Vielfaches höher liegt.

Die Entnahme von zahlreichen großen Silber- und Marmorkarpfen in den letzten zwei Jahren im Caputher See (www.caputhersee.de) hat bislang zumindest beim Zooplankton nicht zu sichtbaren Veränderungen im Artenspektrum geführt. Neben den großen asiatischen Karpfen, die Algen filtrieren, sollte auch der Bestand der kleinen Weißfische, die einen Fraßdruck auf das Zooplankton ausüben, dezimiert werden, um eine bessere Entwicklung des Zooplanktons anzustoßen.