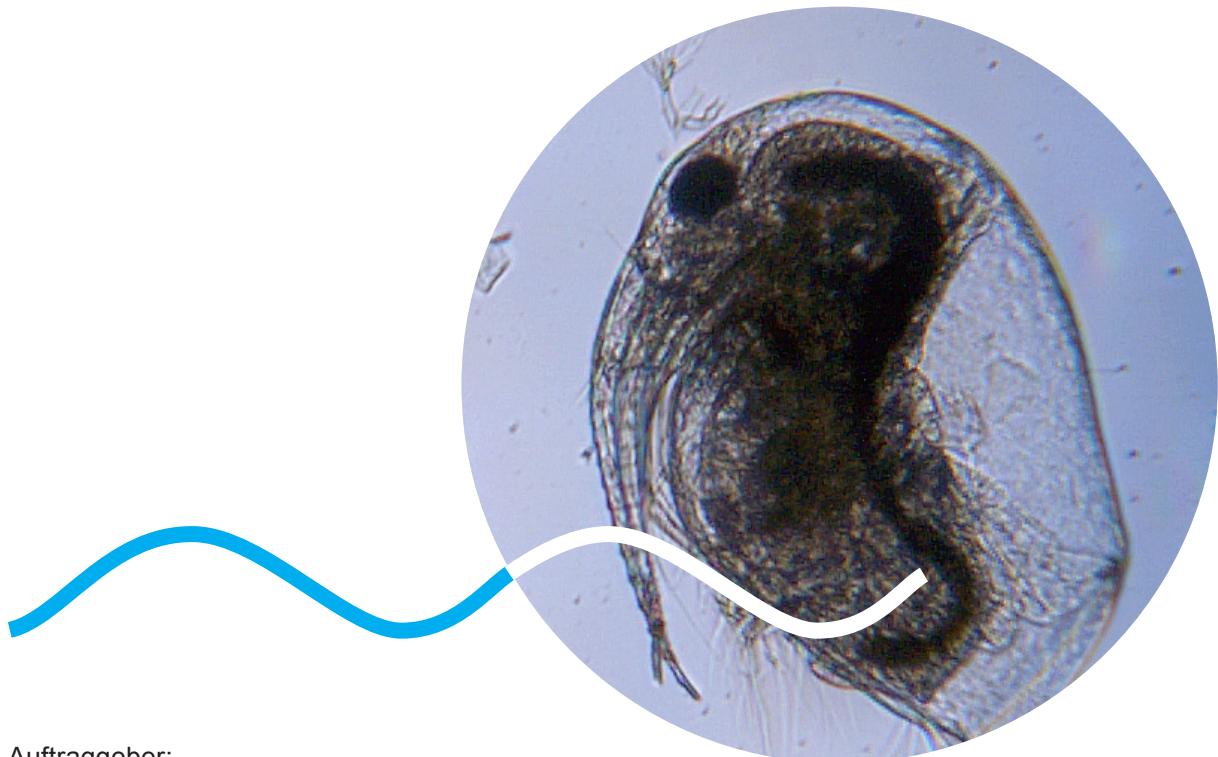




Monitoring des Nahrungsangebotes resp. des Zooplanktons in den 4 Oberengadiner Seen

Datenerhebung im Referenzjahr 2019, inkl. Angaben zur Fisch-
Ertragsfähigkeit, zum Phytoplankton und zum Chlorophyll-a-Gehalt



Auftraggeber:

Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
Loestrasse 14
7001 Chur

Impressum

Limnex-Projekt 3004
5200 Brugg
15. Juli 2020

Bearbeitung

Limnologie und Fischerei: Urs Vogel, David Tanno, Roman Gerber, Alexandra Chevrolet (Limnex AG)
Plankton: Dr. HR. Bürgi, Dienstleistung/Forschung, 8610 Uster

Auftraggeber

Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
Loestrasse 14
7001 Chur

Titelbild

Wasserfloh (*Bosmina* sp.) aus dem Champfèrer-See (Foto: © HR. Bürgi)

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Monitoringkonzept	5
3	Grundlagen	6
4	Resultate der Planktonuntersuchungen	7
4.1	Zeitpunkt der Probenahmen	7
4.2	Zooplankton	7
4.3	Phytoplankton und Chlorophyll-a	10
5	Theoretischer Fangertrag und Vergleich mit den effektiven Fischfangerträgen	13
5.1	Ansätze zur Berechnung des theoretischen Fangertrages	13
5.2	Effektive Fangerträge	14
5.3	Vergleich der theoretischen mit den effektiven Fangerträgen	14
6	Literatur	18
7	Anhang	19
7.1	Artenliste Zooplankton und Mikrozooplankton	20
7.2	Artenliste Phytoplankton	23
7.3	Expertenbericht Plankton 2019/20 (Dr. HR. Bürgi)	25

1 Einleitung

Im Zusammenhang mit dem Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadiner Seen (Silser-, Silvaplaner, Champfèrer- und St. Moritzersee) und v.a. bei den Seesaiblingen wurden in den vergangenen Jahren sowohl limnologische Seeuntersuchungen durchgeführt sowie Abschätzungen zum Ertragsvermögen bezüglich Fische vorgenommen. Die Resultate sind in zwei Berichten (Limnex, 2017a und 2017b) dargestellt. Die rückläufigen Fangerträge bei den Fischen (siehe Abb. 1) deckten sich mit den abnehmenden Phosphor- und Chlorophyll-Konzentrationen in allen Seen in den letzten 25 Jahren. Diesbezüglich wurden die Fangerträge nicht generell als zu tief eingestuft.

Das effektive Nahrungsangebot in den Seen wurde in den letzten 25 Jahren nur in den Jahren 2014-2016 jeweils im Frühjahr und Herbst grob anhand des Phyto- und Zooplanktons untersucht. Ein direkter Vergleich mit der limnologischen Entwicklung der Seen war somit über einen grösseren Zeitraum nicht möglich.

Um zukünftige resp. langjährige Veränderungen im Nahrungsangebot besser erkennen zu können, hat das Amt für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden (AJF) ein Monitoring-Programm initiiert, welches die mittel- bis langfristige Entwicklung dieses Angebotes dokumentieren und relevante Veränderungen aufzeigen soll. Die Limnex AG hat dazu im Auftrag des AJF ein entsprechendes Konzept erarbeitet. Dieses Konzept wird in Kapitel 2 beschrieben. Die entsprechenden Untersuchungen wurden nun erstmals im Sommerhalbjahr 2019 und im Februar 2020 in allen 4 Oberengadiner Seen durchgeführt und sollen dann alle 3-5 Jahre wiederholt werden. Im nachfolgenden Bericht sind die Resultate dieser ersten intensiven Untersuchungen zusammen mit den bereits erfolgten stichprobenartigen Untersuchungen des Planktons in den Jahren 2014-2016 dargestellt. Zudem wird die Ertragsfähigkeit der Seen anhand verschiedener Ansätze aus der einschlägigen Literatur berechnet und die erhaltenen Werte mit der Fangstatistik des Kantons verglichen.

Die Planktonproben wurden durch die Firma Limnex AG entnommen, vor Ort fixiert und ins Bestimmungslabor überführt. Die Artbestimmungen und die Auszählungen erfolgten durch den ausgewiesenen Fachspezialisten H.R. Bürgi (Limnologische Dienstleistung/Forschung Uster). Detaillierte Informationen zu den Planktonbestimmungen und weitergehende wissenschaftliche Angaben befinden im separaten Expertenbericht (siehe Anhang).

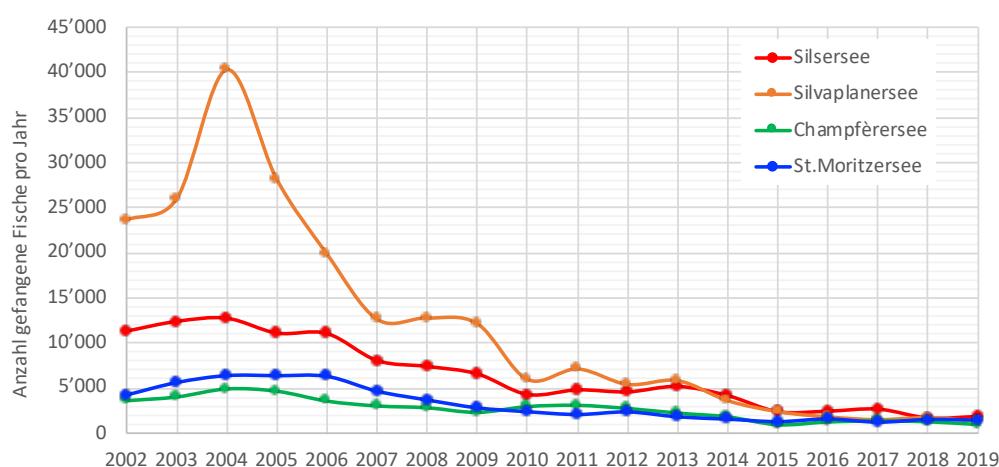


Abbildung 1 Anzahl gefangener Fische in den vier Oberengadiner Seen von 2002 bis 2019 (Quelle: kantonale Fischereistatistik).¹

¹ Im Jahr 2019 wurden in den 4 Oberengadiner Seen zusammen nur noch rund 5'600 Fische gefangen. Gemäss historischen Angaben gab es bereits im 13./14. Jahrhundert im Oberengadin eine Berufsfischerei, welche dem Bistum Chur für die beiden grossen Seen (Silvaplaner- und Silsersee) ca. 15'000 Fische als Gebühr abliefern musste. Obwohl diese Angaben nicht verifizierbar sind, wurden solche Erträge letztmals 2009 erreicht.

2 Monitoringkonzept

Die Aussagen bezüglich Zooplankton beruhten bisher auf jeweils zwei Aufnahmen pro Jahr (Juni und Oktober). Damit konnte zwar eine Grobeinschätzung der Futterbasis vorgenommen werden, da aber der Lebenszyklus der Tiere nur wenige Wochen beträgt, soll das Zooplankton ab 2019 (Referenzjahr) nur noch alle 3-5 Jahre und dafür im Sommerhalbjahr monatlich untersucht werden. Damit können Veränderungen beim Nahrungsangebot für Fische frühzeitig erkannt und langjährige Vergleiche vorgenommen werden. In den jeweiligen Untersuchungsjahren sollen die Beprobungen monatlich von Mai bis Oktober durchgeführt werden. Die erste Probenahme sollte bald nach der Eisschmelze erfolgen (Mai), da zu diesem Zeitpunkt und nach der Winterphase viele Nährstoffe zur Verfügung stehen und die Nahrungskette bereits eine ausgeprägte Dynamik erreichen kann. Ein zusätzlicher Untersuchungstermin im Winter unter Eis (Februar/März) wird empfohlen, um auch das Futterangebot im Winterhalbjahr abschätzen zu können.

Für die quantitative Entnahme der Zooplankton-Proben soll ein Zooplankton-Netz verwendet werden (z.B. Zwillingsgarnitur mit je 1 dm² Eintrittsöffnung und 95 µm Maschenweite, System Bürgi). In jedem See wird das Netz bis knapp über den Gewässerboden abgesenkt und darauf langsam bis an die Oberfläche gezogen, um das Plankton zu beproben. Da die Dichte des Zooplanktons in den Oberengadiner Seen nicht sehr gross ist, sollen jeweils 2 Netzzüge nacheinander erfolgen. Das Plankton wird drauf in Formalin (Endkonzentration 4%) bis zur Bestimmung konserviert.

Die Grobaufnahme des Phytoplanktons im Frühjahr (Juni) und Herbst (Oktober) ist ebenfalls sinnvoll, um allfällige toxische Planktonarten feststellen zu können. Die quantitative Probenahme erfolgt in den obersten 20m des Sees (z.B. mittels integrierender Schöpfflasche nach Schröder). Die Probe wird im Feld mit Lugol fixiert. Da das Phytoplankton im fixierten Zustand nicht immer genau bestimmt werden kann, soll zusätzlich eine Lebendprobe entnommen werden. Diese wird möglichst schnell im Labor bestimmt.

Die monatliche Messung des Chlorophyllgehaltes (Chlorophyll-a) kann wertvolle Informationen über die Menge und Jahresdynamik des Phytoplanktons liefern. Diese Messung erfolgt am einfachsten mit einer Chlorophyll-Sonde über die ganze Wassertiefe. Bei Anwendung einer Kombisonde kann zudem auch der Sauerstoffgehalt, die Temperatur und die Leitfähigkeit erfasst und damit weitere wichtige Informationen über den ökologischen Zustand der Seen gesammelt werden.

Für die Berechnung der Ertragsfähigkeit der Fische in den Oberengadiner Seen gibt es verschiedene Berechnungsansätze (siehe Limnex, 2017b). Als Grundlage für die Berechnungen dienen je nach Ansatz der Chlorophyllgehalt oder der Gesamtphosphor. Die Berechnungen in Limnex (2017b) haben gezeigt, dass für die Oberengadiner Seen v.a. die Ansätze auf der Grundlage der Gesamt-Phosphor-Konzentration (Jahresmittel) mit den effektiven Fangerrägen am besten korrelieren. Deshalb soll bei allen Untersuchungsterminen auch der Gehalt an Gesamtphosphor im Oberflächenwasser (produktive Schicht) bestimmt werden. Dies erfolgt am einfachsten mit einer integrierenden Schöpfflasche (z.B. Typ Schröder), mit welcher eine Sammelprobe aus den obersten 20m des Sees entnommen wird.

Das Monitoringprogramm zur Untersuchung des Nahrungsangebotes und zur Berechnung der Ertragsfähigkeit sieht zusammenfassend für ein Untersuchungsjahr wie folgt aus:

Termin	Zooplankton quantitativ	Phytoplankton quantitativ	Gesamt-Phosphor (0-20m)	Chlorophyll-a, Sauerstoff, Temperatur, Leitfähigkeit (Tiefenprofil)
Februar	X		X	X
Mai	X		X	X
Juni	X	X	X	X
Juli	X		X	X
August	X		X	X
September	X		X	X
Oktober	X	X	X	X

3 Grundlagen

Für die Bearbeitung der oben aufgeführten Fragestellungen stehen folgende Grundlagen aus den Oberengadiner Seen zur Verfügung:

- Limnologische Untersuchungen 1992/93 (Limnex 1994)
- Limnologische Untersuchungen 2014-2016 (Limnex 2017a)
- Fischereiliche Abklärungen zum Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadiner Seen (inkl. Beurteilung des Planktons von 2014-2016 (Limnex 2017b)
- Fischfangstatistik des AJF von 2002-2019 (Angaben zu gefangenen Arten und deren Grösse)
- Fangerträge in den Oberengadiner Seen vor 2002, keine systematische Erfassung
- Bericht „*Projet Lac*“: *Untersuchung der Fischpopulation im Lago di Poschiavo und im Silsersee* (Vonlanthen & al., 2014)
- Eidgenössische Fischereistatistik (www.fischereistatistik.ch)
- Wissenschaftliche Literatur zum Thema Fischertrag (vgl. Kap. 5)
- Daten zur Topografie der Oberengadiner Seen sowie Isobathenflächen und Schichtvolumina (Daten der EAWAG, zusammengefasst in Limnex 1994)
- Zusammenstellung kantonaler Daten zur Gesamtphosphorkonzentration in Schweizer Seen (Daten vom BAFU, Sektion Wasserqualität, zur Verfügung gestellt)

4 Resultate der Planktonuntersuchungen

4.1 Zeitpunkt der Probenahmen

In den Jahren 2014-2016 wurde das Phyto- und Zooplankton jeweils im Juni und Oktober untersucht. Im Sommerhalbjahr 2019 erfolgten die Untersuchungen im Monatsrhythmus. Die einzige Winterbeprobung fand im März 2020 statt. Ältere quantitative Planktonuntersuchungen sind keine bekannt. Die genauen Untersuchungstermine sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Termine für die Phyto- und Zooplanktonuntersuchungen in den Jahren 2014-2016, 2019 und im März 2020.

Jahr	März	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
2014	–	–	23./24.6.	–	–	–	14./15.10.
2015	–	–	09./10.6. (nur Zoopl.)	–	–	–	13./14.10. (nur Zoopl.)
2016	–	–	31.5./01.6.	–	–	–	11./12.10.
2019	–	22./23.5. (nur Zoopl.)	11./12.6.	10./11.7. (nur Zoopl.)	14.8. (nur Zoopl.)	10.9. (nur Zoopl.)	8./9.10.
2020	10./11.3. (nur Zoopl.)	–	–	–	–	–	–

4.2 Zooplankton

Das Zooplankton in den Oberengadiner Seen bestand 2019 – wie auch in den Vorjahren 2014-2016 – im Wesentlichen aus drei Gruppen (siehe Artenliste im Anhang 7.1): den Einzellern (Protozoa), Rädertieren (Rotatoria) und Kleinkrebsen (Crustacea). Für die planktivoren Fische sind letztere von zentraler Bedeutung. In den Oberengadiner Seen sind dies hauptsächlich die Wasserflöhe (Cladoceren) und die Ruderfusskrebs (Copepoden), wobei die Cladoceren deutlich höhere Biomassewerte erreichen und somit als Nahrungsgrundlage für Fische eine wichtigere Rolle spielen. Die Cladoceren in den vier Seen sind alleamt algivor und setzen sich v.a. aus den beiden Gattungen *Daphnia* sp. und *Bosmina* sp. zusammen, welche den Jungfischen als gute Nahrungsgrundlagen dienen, da sie nicht besonders agil sind. Die Biomasse der Cladoceren übersteigt diejenige der Copepoden um das 5-10fache. Sie sind so zahlreich, dass sie die eigene Futterbasis abweiden können (over-grazing) und ihre Fertilität dadurch abnimmt, weshalb im Oktober dann kaum mehr Jungtiere im Brutraum beobachtet werden. *Daphnia* sp. (Cladocere) ist in allen Seen und in fast allen Jahreszeiten die dominante Gattung (siehe Artenliste im Anhang und Abb.2). *Bosmina* sp. ist in den oberen beiden Seen die zweithäufigste Art, in den unteren beiden Seen wird sie zeitweise von der Gattung *Cyclops* sp. (Copepod) als zweithäufigste Art abgelöst. Weitere Gattungen wie *Acanthodiaptomus* sp. und *Eudiaptomus* sp. erreichen nur geringe Dichten in den Seen. Die sehr ähnliche Arten-Zusammensetzung in den vier Seen zeigt, dass diese über den Inn gekoppelt sind und somit ein gerichteter Artenaustausch entlang der Seenkette erfolgt. Räuberische Zooplankton-Formen (typische Sommerformen) kommen keine vor, was vermutlich mit dem kurzen Sommer im Oberengadin erklärt werden kann.

Der Verlauf der Biomasse (siehe Abbildung 2) zeigt deutlich auf, dass die grosse Dynamik mit nur zwei Untersuchungsterminen im Juni und Oktober der Jahre 2014-2016 weitgehend verpasst wird. In den Sommermonaten (v.a. August und September), welche nur 2019 untersucht wurden, traten im Silser- und

Silvaplanersee die höchsten Werte aller Untersuchungstermine auf. Im Champfèrer- und St. Moritzersee waren die Werte in diesen beiden Monaten ebenfalls hoch, auch wenn sie nicht immer zu den höchsten zählten. Wegen der wenigen Untersuchungsjahre – mit teilweise nur 2 Untersuchungen – ist bei der Biomasse des Zooplanktons noch keine klare zeitliche Tendenz erkennbar. Dies kann erst mit weiteren Untersuchungen alle 3-5 Jahre aufgezeigt werden. Mit der Biomasse des Zooplanktons wurde auch die Ertragsfähigkeit der Seen bezüglich Fische abgeschätzt (siehe Kapitel 5).

Die mittlere jährliche Biomasse (zeitlich gewichtet) nimmt im Jahr 2019 (inkl. März 2020) in den vier Seen in Fliessrichtung deutlich zu. So hat der Silsersee ein entsprechende mittlere Biomasse von 19 g/m², der Silvaplanersee 24 g/m², der Champfèrersee 25 g/m² und der St. Moritzersee 29. g/m². Damit nimmt auch die Nahrungsgrundlage für planktivore Fische pro Flächeneinheit von See zu See zu.

Wie im Expertenbericht zum Plankton beschrieben (siehe Anhang 7.3), kommen bei guten Bedingungen für die Fortpflanzung nur weibliche Formen von Daphnien im See vor (eingeschlechtliche Fortpflanzung). Sobald sich die Umweltbedingungen jedoch verschlechtern (z.B. schlechte Nahrungsgrundlage) treten auch männliche Formen der Daphnien auf. Solche männliche Daphnien können in allen 4 Seen ab Juli bis Oktober von 2014 bis 2019 beobachtet werden (siehe Anhang 7.1) und weisen auf eine Verschlechterung der Nahrungsgrundlage und der Produktionsbedingungen hin. Die bei der sexuellen Fortpflanzung entstehenden Ephippien (sexuelle Dauereier) können dann 2 Jahre oder mehr am Seegrund überleben und so schlechte Nahrungsbedingungen überbrücken. Solche Ephippien wurden im Sommer 2019 sowohl in Silser- wie im Champfèrer-See beobachtet. Die Beobachtung von männlichen Daphnien und Ephippien ist ein deutlicher Hinweis, dass in allen 4 Oberengadiner Seen das Nahrungsangebot für das Zooplankton zumindest zeitweise beschränkt ist.

Das Zooplankton wurde in den Oberengadiner Seen bisher im Winter noch nicht untersucht. Eine erste Beprobung fand im Spätwinter 2020 statt. Die Biomasse zeigte dabei in allen Seen im März 2020 erstaunlich hohe Werte, die teilweise wenig unter oder sogar über den Werten vom Mai oder Juni der Vorjahre lagen. Es ist davon auszugehen, dass die lange Dauer des Schwarzes mit gutem Lichteinfall für das Phytoplankton dafür verantwortlich ist. Das Schwarze hat somit zu überdurchschnittlichen Winter-Biomassen geführt. Im Magen des Zooplanktons wurden gemäss Expertenbericht (siehe Anhang 7.3) Kieselalgen gefunden, welche ohne zusätzliches Licht zu dieser Jahreszeit normalerweise nicht vorhanden wären. Im Winter sind die sonst dominanten Copepoden und Cladoceren eher rar, weshalb für die winterlaichenden Fische in der Anwachsphase der Jungtiere das Futter limitiert ist. Fischlarven hingegen verfügen nach dem Schlüpfen noch über Dottersackreserven und sind damit nur wenig von diesem Engpass betroffen².

Das Mikrozooplankton in den Engadiner Seen besteht aus Protozoen und Rotatorien (siehe Tabelle in Anhang 7.1). Sie wurden jeweils im Frühjahr und Herbst der Jahre 2014, 2015 und 2019 in den entnommenen Phytoplanktonproben bestimmt. Der Anteil der Mikrozooplankton-Biomasse an der gesamten Biomasse des Zooplanktons ist meist sehr gering. Einzig im Juni 2014 erreichte ihr Biomasse-Anteil am gesamten Zooplankton im Silsersee über 80% (siehe Expertenbericht Anhang 7.3, Abbildung Seite p7). Solche hohen Anteile wurden danach aber im Silsersee nicht mehr beobachtet.

2 Der Beginn der exogenen Nahrungsaufnahme von Fischlarven wird anhand der Tagesgradentwicklung sowie der Dauer der Dottersackphase für die Oberengadiner Seen auf April/Anfang Mai geschätzt. Eine Zeit also, in der die Seen mehrheitlich eisfrei sind. (Einschätzung AJF, siehe Limnex 2017b).

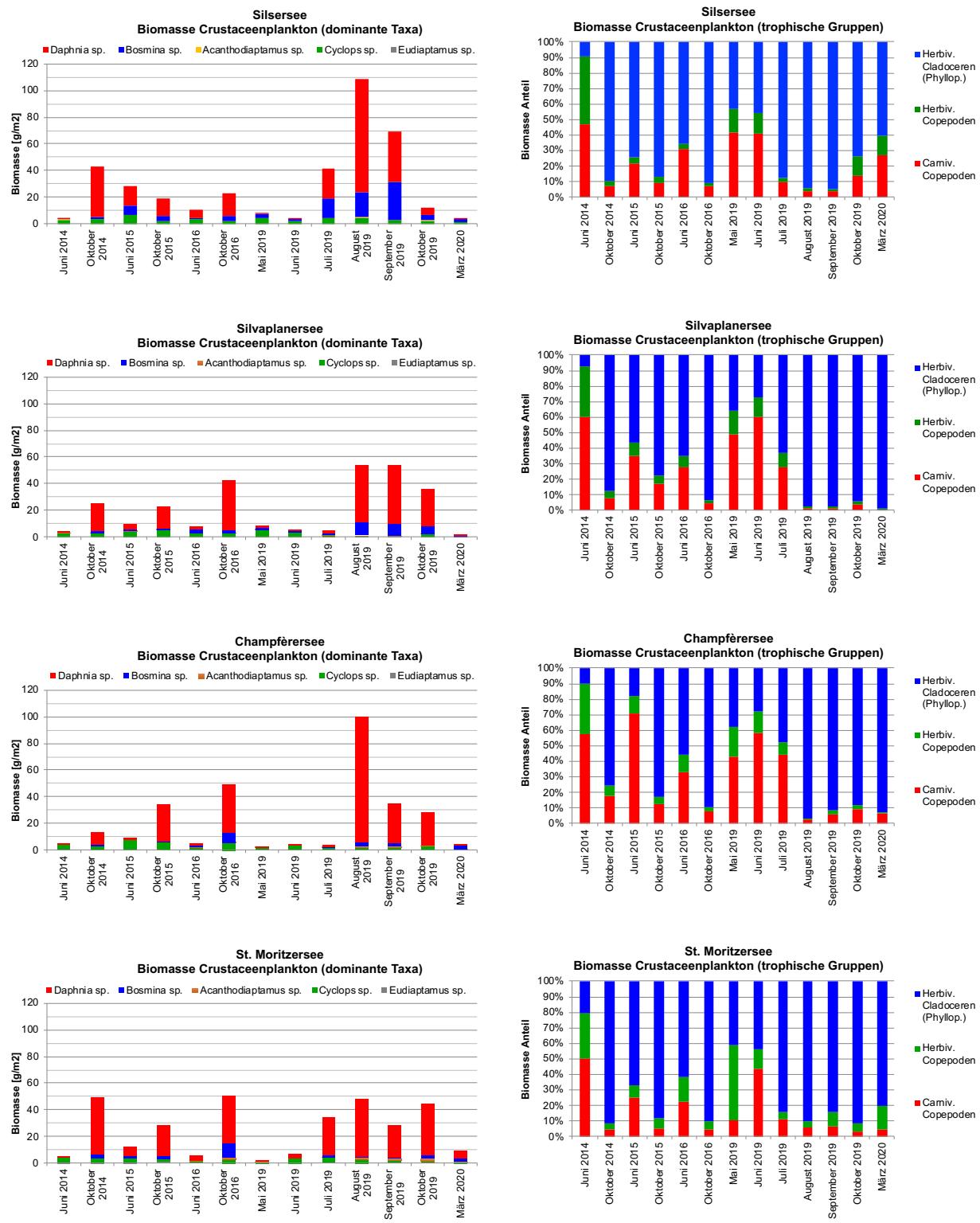


Abbildung 2 Biomasse und Zusammensetzung des Crustaceenplanktons in den vier Oberengadiner Seen für die Bemessungsperiode 2014-2020.

4.3 Phytoplankton und Chlorophyll-a

Das Phytoplankton in den 4 Oberengadiner Seen wird bezüglich Biomasse von den Diatomeen (Kieselalgen), den Chrysoflagellaten (Goldbraune- resp. Goldalgen) und Dinoflagellaten (Panzergeissler) dominiert. Ihr Anteil liegt durchwegs über 50% und erreicht jeweils im Frühjahr Werte von 80-95% (siehe Abb. 3). Daneben sind aber auch die Cryptomonaden (Cryptophyceae resp. Schlundalgen) v.a. in den Herbstproben häufig und als Futterbasis für das Zooplankton von Bedeutung, da sie sehr schnell nachwachsen können.

Die höchsten Biomassen wurden in allen Seen im Juni 2019 beobachtet (Abb. 3). Im Silsersee wurde dann sogar ein Wert von 25 g/m² erreicht. Die Untersuchung des Phytoplanktons erfolgte in den Jahren 2014-2016 und 2019 nur jeweils im Juni und im Oktober, wobei die Dynamik über das Sommerhalbjahr nicht erfasst werden kann. Somit kann aus den hohen oder tiefen Biomassewerten nur beschränkt ein Trend bezüglich Biomasseentwicklung über die Jahre festgestellt werden.

Im Schnitt hat das Phytoplankton 36 Arten und weist die Seen somit generell als gesunde Seen aus. Massenentfaltungen wurden keine beobachtet, was insbesondere auch für toxische Arten aus der Gruppe der Blaualgen (Cyanobakterien) zutrifft. Die potenziell toxische Blaualgengattung *Plankothrix* sp. kommt in den unteren drei Seen zwar vor, ihre Individuendichten sind aber sehr gering (siehe Anhang 7.2.). Eine Beeinträchtigung für die Fischpopulation ist somit nicht zu erwarten.

Die Diversität des Phytoplanktons ist in den beiden oberen Seen eher geringer, da sich dort grosse Kieselalgen besser entfalten können. Im Frühjahr vermehrt sich das Phytoplankton nach der unproduktiven Winterzeit sprunghaft, da die Nährstoffreserven im Wasser nach dem langen Winter gross sind und zudem die Lichteinstrahlung nach der Eisschmelze bereits hoch ist. Anhand des Zooplanktons (siehe Kap. 4.2) beurteilt, dürfte eine nachhaltige Dezimierung durch das Zooplankton ab August auftreten. Dann sind auch die Nährstoffreserven im See weitgehend aufgebraucht, weshalb grosse Algen im Oktober nur noch in geringem Ausmass gefunden wurden.

Die Konzentrationen an Chlorophyll-a in den Tiefenprofilen erreichen in allen Seen und bei allen Messungen von 2019/20 nur einige µg/l (siehe Abb. 4). Wie bei den Biomassen (siehe oben) sind diese im Frühjahr am höchsten. Der Spitzenwert von 6 µg Chl-a/l wird im St. Moritzersee im Mai erreicht. Die tiefsten Werte wurden im Spätsommer und Herbst gemessen, wenn das Zooplankton das Phytoplankton abgeweidet hat und selber hohe Biomassewerte aufweist. Dank dem Schwarzeis zu Beginn des Winters 2019/20 sind die Konzentrationen im März 2020 ausser im Silsersee sogar höher als im Herbst davor. Die Darstellung der mittleren Konzentrationen über die gesamte Wassertiefe (Abb. 5) zeigen deutlich, dass die Dynamik des Chlorophyll-a und damit des Phytoplanktons über das Sommerhalbjahr betrachtet sehr gross ist und nur mit monatlichen Messungen – wie im Jahr 2019 – erfasst werden kann.

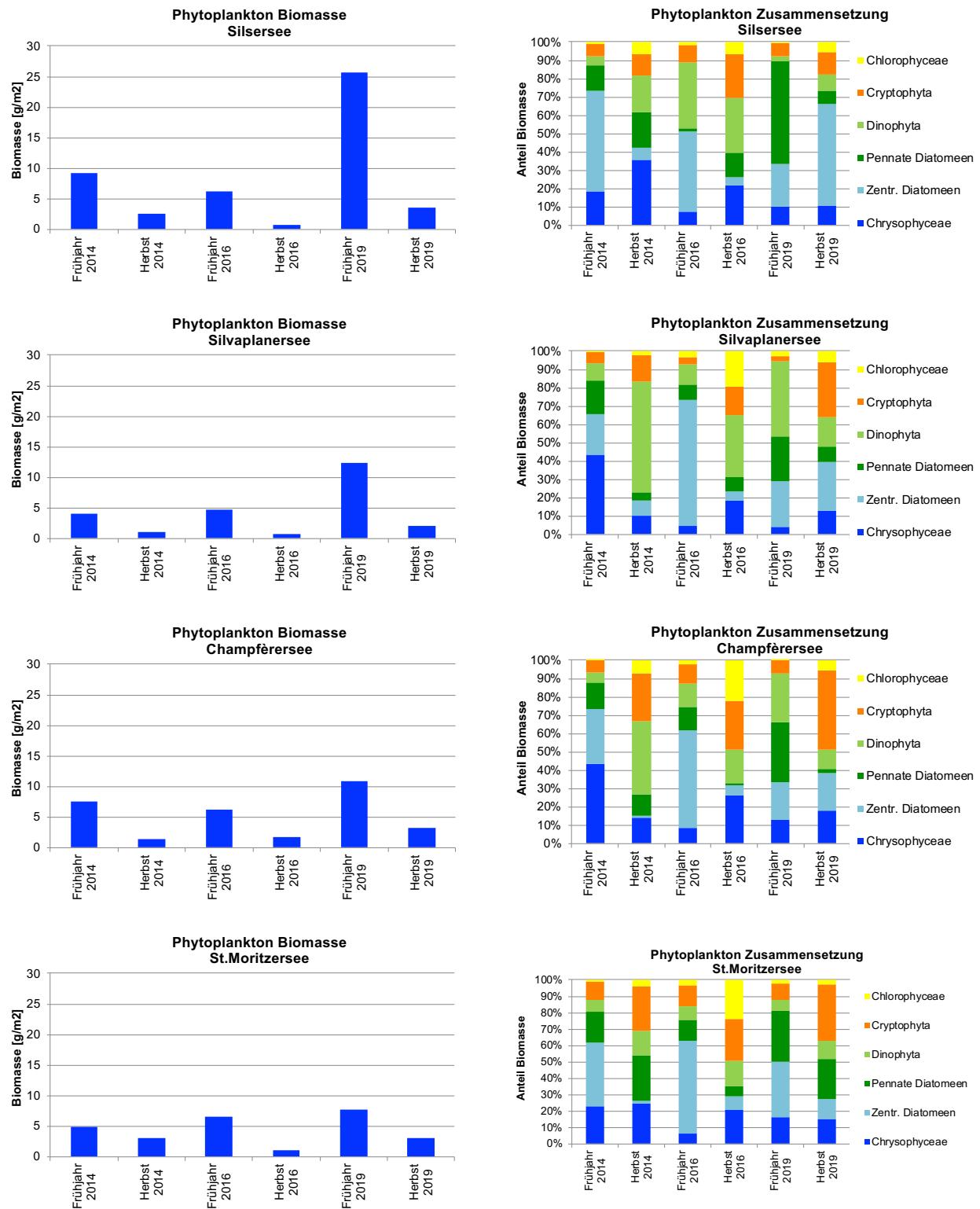


Abbildung 3 Biomasse (linke Spalte) und prozentuale Anteile an der Biomasse des Crustaceenplanktons (rechte Spalte) in den vier Oberengadiner Seen für die Untersuchungsjahre 2014, 2016 und 2019.

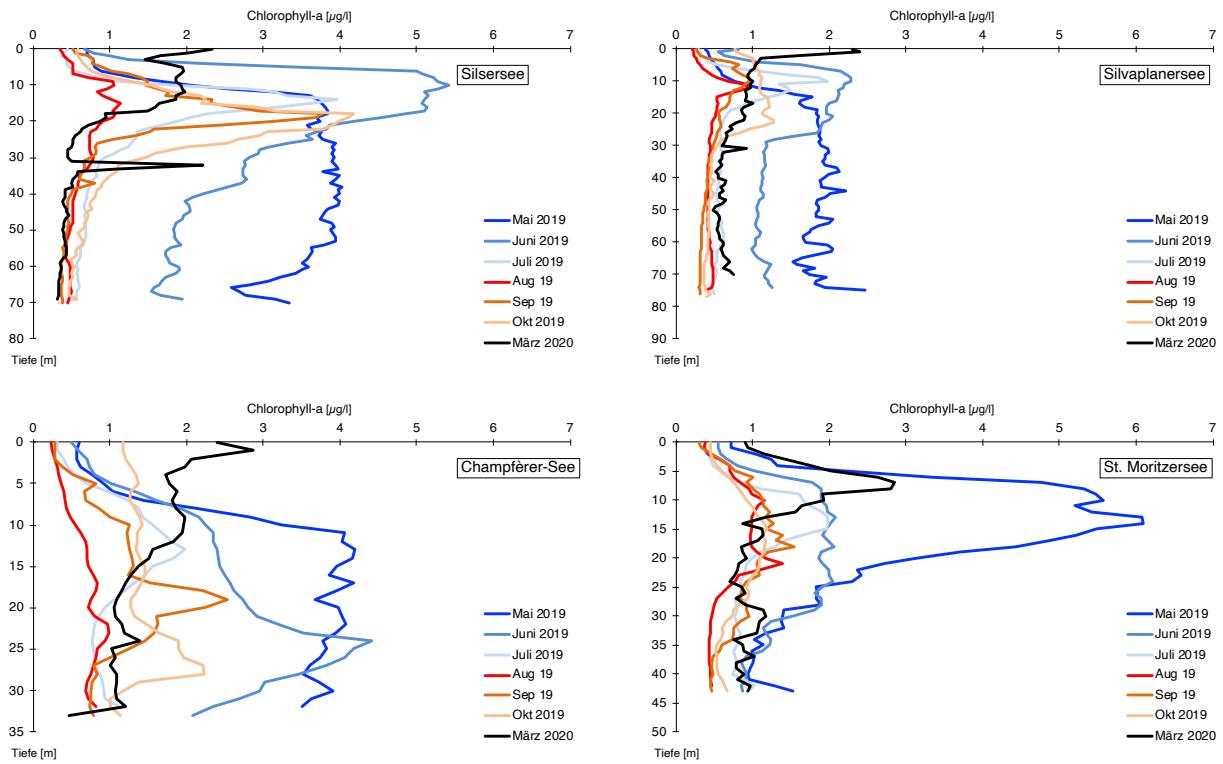


Abbildung 4 Tiefenprofile der Chlorophyll-a-Konzentrationen in den vier Oberengadiner Seen während den Untersuchungen von 2019 und im März 2020.

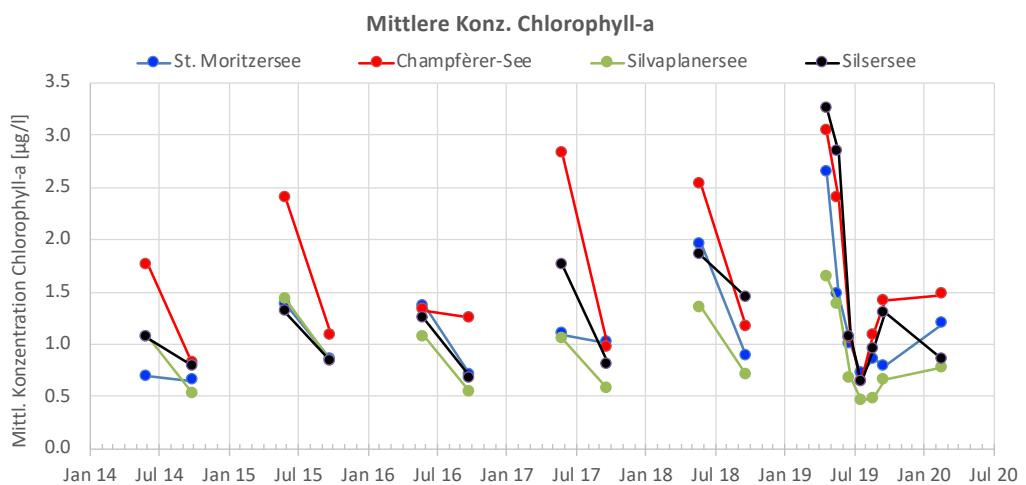


Abbildung 5 Verlauf der mittleren Chlorophyll-a-Konzentrationen in den vier Oberengadiner Seen in den Jahren 2014–2019.

5 Theoretischer Fangertrag und Vergleich mit den effektiven Fischfangerträgen

5.1 Ansätze zur Berechnung des theoretischen Fangertrages

Ein ausführliche Beschreibung der gewählten Ansätze des theoretischen Fangertrages befindet sich im Bericht „Fischereiliche Abklärungen zu Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadinerseen“ (Linenex, 2017b). Die 5 verschiedenen Ansätze beruhen auf den mittleren Konzentrationen von Gesamt-Phosphor resp. Chlorophyll-a in den Seen und sind in Tabelle 2 nochmals zusammengefasst.

Tabelle 2 Auflistung verschiedener Ansätze zur Berechnung der theoretischen fischereilichen Ertragsfähigkeit eines Sees mit Literaturangabe. Standing crop = gesamte Fischbiomasse/-produktion, FY1-4 = Fischertrag (FY = fish yield).

Ansatz	Formel	Parameter	Quelle
Standing crop	$BM = 0.59 \cdot P_{tot}^{0.71}$	BM = Fischbiomasse (standing crop) P_{tot} = Gesamtphosphor	Peters 1986
Fischertrag 1	$FY_1 = 0.0071 \cdot P_{tot}$	P_{tot} = Gesamtphosphor	Peters 1986
Fischertrag 2	$FY_2 = 0.012 \cdot Chl^{1.17}$	Chl = Chlorophyll a - Konz. (Sommermittel)	Lampert & Sommer 1999
Fischertrag 3	$PrimP = (2.13 \cdot Chl^{0.25} + 0.25)^4$ $FY_3 = 0.0021 \cdot PrimP^{0.92}$	PrimP = Primärproduktion Chl = Chlorophyll a - Konz.	Hakanson & Boulion 2001
Fischertrag 4	$FY_4 = 0.3 \cdot BM$	Faustregel: 30% des standing crop ist für die Fischerei nutzbar.	BVE 2006
Fischertrag 5	$FY_5 = 2.246 \cdot P_{tot}^{0.7227}$	Auswertung kantonaler Gesamtphosphordaten und der Fangerträge aus den grossen Schweizer Mittellandseen	Fangerträge: www.fischereistatistik.ch Phosphordatensatz: BAFU
Fischertrag 6	$FY_6 = 0.1 \cdot BM_{Zoo} \cdot 0.3$	BM Zoo = mittlere jährliche Biomasse Zooplankton	Allg. ökologischer Ansatz: 10%-Regel bzgl. Energiefluss in der Nahrungskette (10% des Zooplanktons geht in Standing Crop der Fische); ein Anteil von 30% ergibt gemäss Ansatz 4 den Fischertrag

Der Bericht von 2017 hat gezeigt, dass die Ansätze 4 und 5, welche aus der Konzentration des Gesamt-P berechnet werden am ehesten mit den effektiven Fangerträgen in den Seen übereinstimmen. Die Ansätze 2 und 3, welche auf der Chlorophyll-a-Konzentration beruhen, ergeben zu tiefe theoretische Fangerträge, da die effektiven Fänge in den Seen deutlich höher sind. Neben den 5 erwähnten Ansätzen konnte mit den Daten von 2019/20 erstmals ein weiterer Ansatz auf Basis der effektiv gemessenen Zooplankton-Biomasse angewandt werden. Dabei wird gemäss der allgemeinen ökologischen Regel 10% der Biomasse (des Zooplanktons) an die nächste Stufe in der Nahrungskette (Standing Crop der

Fische) weitergegeben; gemäss einer allgemeinen Faustregel (BVE, 2006) fällt davon 30% als Fischertrag an (siehe Tabelle 2 „Fischertrag 6“). Der Ansatz 6 ergab für alle Oberengadiner Seen sehr ähnliche Fangerträge wie die Ansätze 4 und 5 (siehe Kap. 5.3).

5.2 Effektive Fangerträge

Damit die theoretischen Werte mit den effektiven Fangerträgen verglichen werden können, wurde die kantonale Fangstatistik beigezogen. Diese enthält die Anzahl gefangener Fische pro Art sowie eine grobe Längenangabe in Form einer Längenklasse, Gewichtsangaben zu den gefangenen Fischen fehlen jedoch. Insgesamt stehen diese Daten für den Zeitraum von 2002 bis 2019 für alle vier Seen zur Verfügung.

Basierend auf Netzfang-Daten der Oberengadiner Seen aus den Jahren 1994-2001 wurden Längen-Gewichtskorrelationen für alle befischten Arten erstellt (siehe Limnex, 2017b). Die nur in Form von Klassen vorhandenen Fischlängen wurden mit Hilfe der Befischungsdaten aus dem „*Projet Lac*“ (Vonlanthen & Periat 2014) ergänzt, sodass für jede Längenklasse eine mittlere Fischlänge abgeschätzt werden konnte. Ausgehend von diesen Daten konnte dann der Jahreshektarenertrag (JHE) berechnet werden. Die berechneten Werte stellen aber nur Annäherungen dar und sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Für die Vergleichsjahre 1991/92 sind lediglich die Anzahl gefangener Fische bekannt³. Um einen Jahreshektarenertrag für diese Jahre abzuschätzen wurden Angaben aus dem Bericht von Marrer (1979) verwendet. Mit Hilfe einer Korrelation zwischen Anzahl gefangener Fische und dem JHE aus den Jahren 1972-1978 konnte der Fangertrag für die Zeit mit sehr grossen Erträgen abgeschätzt werden. Da der Bericht von Marrer jedoch nur Werte aus dem Silser- und Silvaplanersee enthält, mussten die Fangerträge für den St. Moritzersee mittels Analogieschluss geschätzt werden.

5.3 Vergleich der theoretischen mit den effektiven Fangerträgen

Abbildung 6 zeigt die theoretisch zu erwartende Gesamtbiomasse (standing crop) der Fische in den vier Seen – berechnet anhand des Gesamt-Phosphor-Gehaltes – für die Untersuchungen von 1991/92 und 2014-2019. Diese dürfte sich in der rund 25-jährigen Zeitspanne zwischen den Untersuchungen deutlich reduziert haben. Für 1991/92 wurden für die 4 Seen noch 29-43 kg/ha berechnet, während für die letzten Jahre von 2014-2019 die Biomasse der Fische nur noch zwischen 18 und 22 kg/ha erreichte. Die Streuungen der Werte sind z.T. recht hoch (siehe schwarze Vertikalstriche in Abb. 6). Der Rückgang der Gesamtbiomasse bei den Fischen beträgt somit in der Theorie und über die rund 25 Jahre betrachtet rund 40-60%.

Mit den in Kapitel 5.1 beschriebenen Ansätzen wurde der theoretische Fischfangertrag aus den Gesamt-Phosphor- und Chlorophyll-a-Werten berechnet (siehe Abb. 7). Der berechnete Fangertrag hängt massgeblich vom gewählten Ansatz ab. Die Ansätze FY1-FY3 ergeben für alle berechneten Jahre sehr niedrige Werte von ca. 0.1 bis maximal 1.3 kg/ha und unterschätzen den Fangertrag mit grosser Wahrscheinlichkeit. Demgegenüber liefern die Ansätze FY4-FY6 deutlich grössere Fangerträge mit Werten im Bereich von 3-20 kg/ha. Im Vergleich zu den effektiven Fangerträgen (Abb. 7, schwarze Rauten) liefern diese drei Ansätze realistischere Werte. Dabei zeigt der Ansatz FY6, bei dem 2019/20 erstmals die effektiv gemessene Biomasse des Zooplanktons berücksichtigt werden konnte, eine recht gute Übereinstimmung mit den Ansätzen FY4 und FY5, welche nur auf dem Gesamt-Phosphor-Gehalt des Seewassers beruhen.

Im St. Moritzersee stimmen die theoretischen Fangerträge FY4-FY6 in allen Untersuchungsjahren sehr gut mit den effektiven Erträgen gem. der kantonalen Fangstatistik überein (Abb. 7). Im Champfèrersee liegen die effektiven Fischfänge in den Jahren 2014-2019 z.T. über dem Erwartungswert. Im Silser- und

³ Längenangaben oder Angaben zu den gefangenen Arten fehlen.

Silvaplanersee hingegen lagen die Fangerträge 1991/92⁴ z.T. noch deutlich über den Erwartungswerten gem. FY4-FY5, während sie heute (2014-2019) z.T. ebenso deutlich unter den erwarteten Werten gem. FY4-FY6 liegen. Im Untersuchungsjahr 2019, mit der besten Datengrundlage aller Untersuchungsjahre, entsprechen die effektiven Fangerträge im St. Moritzer- und im Champfèrersee recht gut den Erwartungen, in den beiden oberen Seen liegen sie jedoch weit darunter (Abb.7).

Im Zusammenhang mit den oben ausgeführten Resultaten behalten aber auch folgende Zusatzinformationen aus dem Bericht „Fischereiliche Abklärungen zu Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadinerseen“ (Limnex, 2017b) ihre Gültigkeit:

„Die theoretischen Berechnungen zeigen hier auch deutlich die Abhängigkeit des Fangertrages vom Phosphorgehalt. Der Rückgang des Phosphorgehaltes wurde zwischen 1991/92 und 2014-2016 nachgewiesen ... und stellt eine mögliche Erklärung für den Rückgang der Fangerträge in den Oberengadiner Seen dar. Der genaue Verlauf der Abnahme des Phosphorgehaltes ist in diesem Zeitraum wegen fehlenden Messungen allerdings unbekannt.“

„Im Zusammenhang mit dem Phosphorgehalt gilt es aber zusätzlich zu berücksichtigen, dass das Zooplankton nicht die einzige Nahrungsgrundlage für die Fische in den Oberengadiner Seen ist. Besonders Seesaiblinge nutzen daneben auch benthische Wasserwirbellose, wie beispielsweise Muscheln oder Gammariden, kleine Fische und auch Anflugnahrung. Diese Nahrungsquellen hängen nicht direkt mit dem Phosphorgehalt eines Sees zusammen und können die Auswirkungen eines abnehmenden P-Gehaltes etwas puffern.“

„Ein Vergleich der Oberengadiner Seen mit anderen Schweizer Seen ist generell schwierig, da es sich um sehr hochgelegene Seen handelt. Im Hinblick auf den Phosphorgehalt könnte aber beispielsweise der Brienzersee als Referenz beigezogen werden. ... Nach BVE (2006) hat der Phosphatgehalt im Brienzersee zwischen 1994 und 2002 von 3 auf weniger als 1 µg P/l abgenommen. Bei diesen Phosphat-Konzentrationen geht man künftig von einem Jahreshektarentrag im Bereich von 2-3 kg aus (vgl. 1975-1981: JHE14 kg/ha). Der Vergleich zeigt, dass sowohl die Fangerträge als auch die Phosphatkonzentrationen in einem ähnlichen Bereich liegen und die verzeichneten Erträge insbesondere im Silsersee nicht unbedingt ungewöhnlich für einen oligotrophen See sein müssen. Vielmehr scheint es so, dass die Fangerträge aus früheren Jahren mit JHE bis 25 kg/ha als extrem hoch eingestuft werden müssen (Ruhlé 2006).“

„Gemäss den Untersuchungen im Rahmen von Projet Lac ist die Dichte und das Wachstum der Saiblinge im Silsersee vergleichbar mit dem Lago di Poschiavo, wobei in Letzterem markant höhere Fänge erzielt werden (Vonlanthen & Périat 2014). Die Autoren der Studie führen die geringen Fänge im Silsersee im Vergleich zum Lago di Poschiavo auf eine niedrigere Fangwahrscheinlichkeit zurück, was mit der Nahrungsauswahl oder mit der tieferen Verteilung der Seesaiblinge im Silsersee zusammenhängen könnte. Da jedoch keine standardisierten Befischungen aus früheren Jahren vorhanden sind, bleibt die Frage nach den Ursachen des Fangrückganges im Silsersee offen.“

4 Diese Werte wurden aber anhand von anderen Daten und Berechnungsmethoden ermittelt, weshalb sie mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

Theoretischer "standing crop" Oberengadiner Seen
1991/92 und 2014-2019

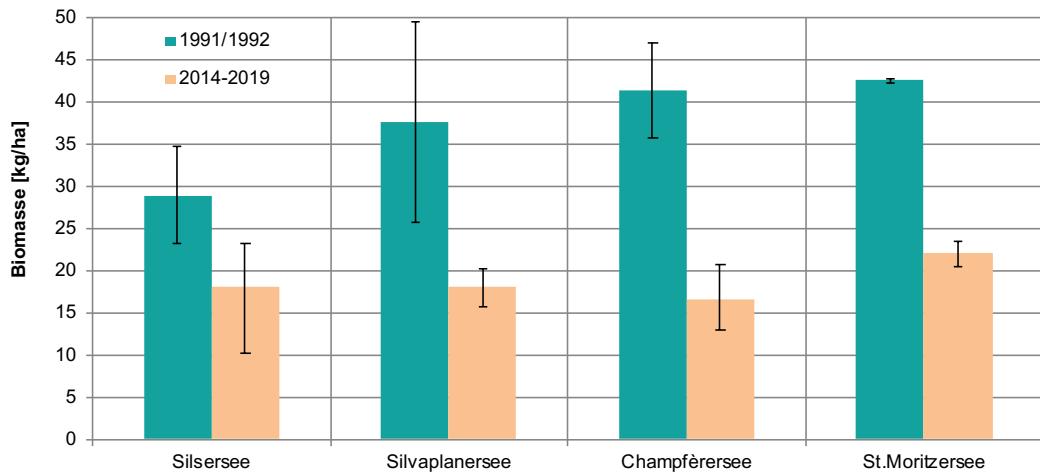


Abbildung 6 Mittlere theoretische Fischbiomasse (standing crop) in den vier Oberengadiner Seen berechnet nach dem Ansatz von Peters (1986) und für die beiden Perioden 1991/92 und 2014-2019. Die Fehlerbalken zeigen die Streuung innerhalb eines Sees (Minimum und Maximum). Die Werte basieren auf den Gesamt-Phosphorkonzentrationen der Jahre 1991/92 und 2014-2019.

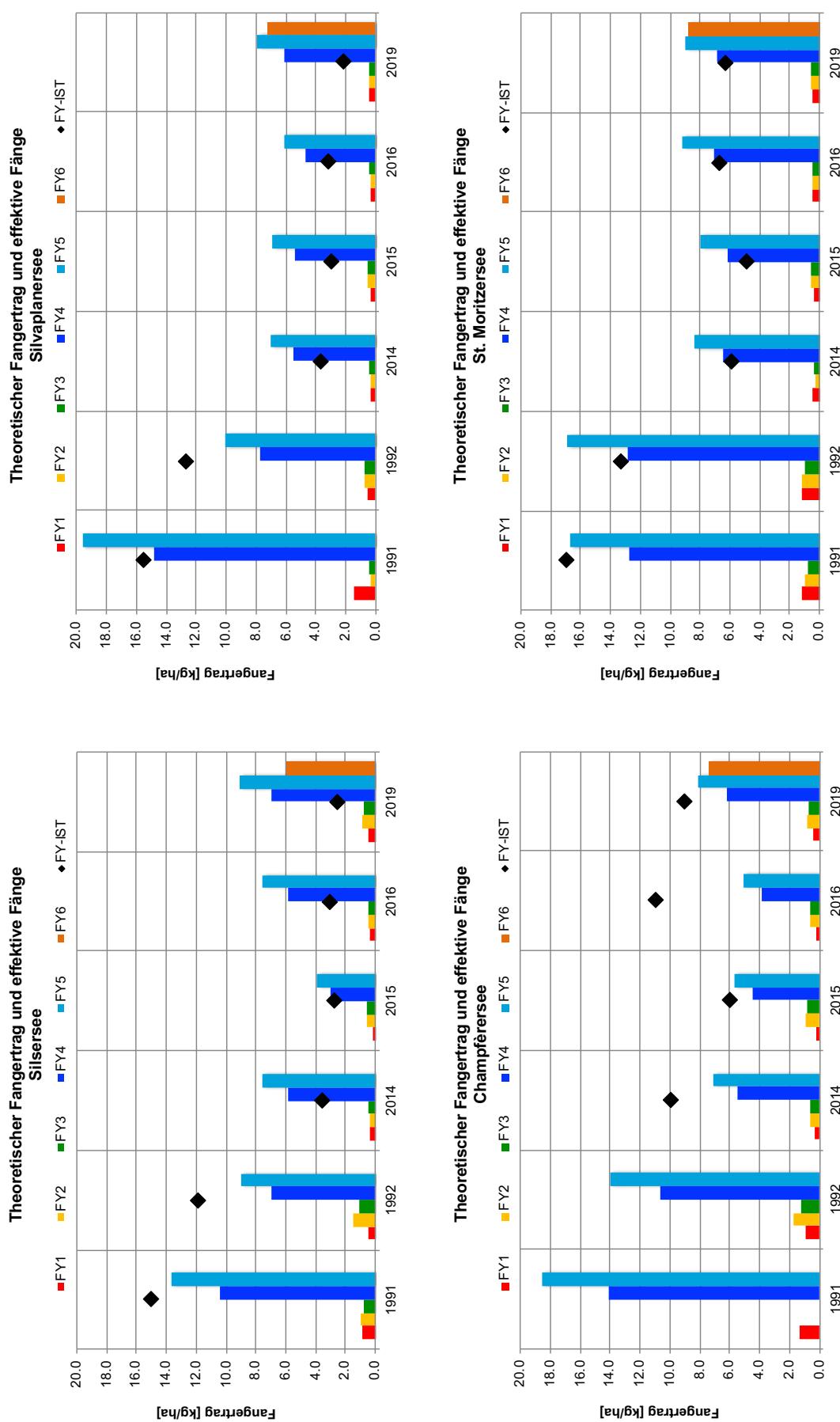


Abbildung 7 Theoretischer Fangertag in den vier Seen des Oberengadins nach den Ansätzen FY1-6 (farbige Balken) für die Jahre 1991/1992 sowie 2014-2019. Die schwarz Rauten zeigen den effektiven Fangertag (FY-IST) im Beobachtungszeitraum gemäss kantonaler Fischfangstatistik. Für das Jahr 1991/1992 fehlen die Angaben zu den Fangtrrägen im Champfèrsee. Ebenso fehlen zum Champfèrsee Messungen zur Chlorophyllkonzentration im Jahr 1991, weshalb die Ansätze FY2 und FY3 nicht berechnet werden konnten.

6 Literatur

- BVE - Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (2006): Brienzersee: Ein Ökosystem unter der Lupe. Resultate des Forschungsprojekts zum Rückgang des Planktons und der Felchenerträge. 24S.
- Lampert, W. & Sommer, U. (1999): Limnoökologie. 2. neu bearbeitete Auflage. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Limnex AG (1994): Gewässerzustand und Gewässerschutzmassnahmen im Oberengadin. Bericht im Auftrag des Amtes für Umweltschutz, Kanton Graubünden.
- Limnex AG (2017): Aktueller Gewässerzustand der vier Oberengadiner Seen und mutmassliche Entwicklung in jüngerer Zeit. Bericht im Auftrag des Amtes für Natur- und Umwelt, Kanton Graubünden.
- Limnex AG (2017): Fischereiliche Abklärungen zu Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadinerseen. Bericht im Auftrag des Amtes für Jagd und Fischerei, Kanton Graubünden.
- Marrer, H. (1979): Bericht über die in den Jahren 1977 und 1978 in den Oberengadiner Talseen durchgeführten fischereiologischen Untersuchungen (Kurzfassung). Bericht im Auftrag des Jagd- und Fischereiinspektates des Kantons Graubünden, 27S.
- Hakanson, L., Boulion, V.V. (2001): Regularities in Primary Production, Secchi Depth and Fish Yield and a New System to Define Trophic and Humic State Indices for Lake Ecosystems. Internat. Rev. Hydrobiol. 86 (1), 23-62.
- Peters, R.H. (1986): The role of prediction in limnology. Limnol. Oceanograph. 31 (5), 1986, 1143-1159.
- Ruhlé, C. (2006): Bemerkungen zu den Seesaiblingen (*Salvelinus alpinus* L.) des Silsersees. Bericht im Auftrag des Amtes für Jagd und Fischerei Graubünden, 34S.
- Vonlanthen, P., Périat, G. (2013): Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Brienzersee. Abschlussbericht vom 25.04.13 im Rahmen von „Projet Lac“.
- Vonlanthen, P., Périat, G. (2014): Untersuchung der Fischpopulationen im Lago di Poschiavo und im Silsersee. Schlussbericht vom 08.07.14 im Rahmen von „Projet Lac“.

7 Anhang

- 7.1 Artenliste Zooplankton und Mikrozooplankton
- 7.2 Artenliste Phytoplankton
- 7.3 Expertenbericht Plankton 2019/20 (Dr. HR. Bürgi)

7.1 Artenliste Zooplankton und Mikrozooplankton



Silsersee													
Crustaceenplankton		0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m
Tiefe der Probenahme		23.06.14	14.10.14	10.06.15	14.10.15	01.06.16	12.10.16	23.05.19	11.06.19	10.07.19	14.08.19	10.09.19	08.10.19
Datum der Probenahme													
Phyllopoda [Ind./m3]													
Bosmina longispina female juv.		300	1'050	400	231	235	68	29	120	370	150	87	37
Bosmina longispina fem adult	8	1'113	4'210	2659	683	2300	340	96	3800	4900	7700	970	320
Bosmina longispina fem adult ov.	8	75	298	140	200	119	390	92	130	25	120	79	210
Daphnia rosea female juv.	23	715	1'102	413	1104	638	16	17	630	120	67	120	17
Daphnia rosea female adult	23	3'240	1'100	986	234	1210	26	21	300	3000	1300	92	
Daphnia rosea female ad. Ov.	15	429	250	330	75	25	10		340	100	67	62	
Daphnia Total Embryonen	120	509	1'300	1170	840	399	47		1300	110	77	120	
Daphnia Männchen					25	21			83			8	12
Ephippien													
Copepoda [Ind./m3]													
Acanthodiaptomus denticornis C1-C3	1'106		260	13	50	13	10		75	220			
Acanthodiaptomus denticornis C4/C5	809	13	4			0			100	50		4	
Acanthodiaptomus denticornis adult male		390		100		53	1			250	77	59	
Acanthodiaptomus denticornis adult female		76		25		31	2		33	110	41	29	
Acanthodiaptomus denticornis ad. fem. Ov.		116		3		25				83	92	62	
Cyclops andere (bohater, vicinus)								45					
Cyclops abyssorum C1-C3	1'377	1'010	1'170	1478	490	920	1000	320	120	250	120	680	430
Cyclops abyssorum C4-C5	1'215	710	3'100	483	880	246	480	270	600	920	450	180	100
Cyclops abyssorum adult male	113	410	213	270	92	252	170	62	100	75	67	100	85
Cyclops abyssorum adult female	60	240	302	161	155	112	78	62	100	92	92	62	67
Cyclops abyssorum ad. fem. Ov.	23	19	196	50	190	38	31	21	83	11	8	12	48
Mesocyclops									4				
Nauplien aller Copepoden		4'175	5'000	7'100	1680	3960	2830	1600	1600	5500	7700	3900	3500
Total [Ind./m3]	9'075	14'365	21'655	10'386	9'184	9'467	4'269	2'590	13'463	18'394	14'340	6'217	3'014
Bosmina sp. TOTAL	16	1'488	5'558	3'199	1'114	2'654	798	217	4'050	5'295	7'970	1'136	567
Daphnia sp. TOTAL	158	4'178	2'650	2'511	1'149	1'655	83	21	2'023	3'218	1'456	274	0
Acanthodiaptomus sp. TOTAL	1'915	595	264	141	50	122	13	0	208	713	210	153	0
Cyclops sp. TOTAL	2'788	2'389	4'981	2'442	1'807	1'568	1'759	735	1'048	1'348	737	1'034	730
Nauplien aller Copepoden TOTAL	4'175	5'000	7'100	1'680	3'960	2'830	1'600	1'600	5'500	7'700	3'900	3'500	1'700
TOTAL	9'052	13'650	20'553	9'973	8'080	8'829	4'253	2'573	12'829	18'274	14'273	6'097	2'997
Silvaplanersee													
Crustaceenplankton		0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-60m	0-70m	0-70m	0-70m	0-70m	0-70m	0-70m	0-70m
Tiefe der Probenahme		24.06.14	15.10.14	09.06.15	13.10.15	31.05.16	11.10.16	22.05.19	12.06.19	11.07.19	14.08.19	10.09.19	09.10.19
Datum der Probenahme													
Phyllopoda [Ind./m3]													
Bosmina longispina female juv.	20	240	443	150	865	235	18	39	66	14	12	71	21
Bosmina longispina fem adult	58	1313	1316	1144	1561	2030	250	77	270	2500	2000	1400	150
Bosmina longispina fem adult ov.	10	13	110	88	256	44	200	81	11	4	12	71	120
Daphnia rosea female juv.	15	341	320	449	286	813	4	17	42	130	160	120	10
Daphnia rosea female adult	5	2075	210	866	121	3320	11	8	23	1200	1200	750	31
Daphnia rosea female ad. Ov.	10	31	110	796	63	388	21	4	26	100	150	100	12
Daphnia Total Embryonen	30	44	560	1409	360	426	71	21	120	120	150	110	33
Daphnia Männchen						18							
Ephippien													
Copepoda [Ind./m3]													
Acanthodiaptomus denticornis C1-C3	1030		359			9			46	43	18		
Acanthodiaptomus denticornis C4/C5	515			13		0			94				
Acanthodiaptomus denticornis adult male		193		13	1	120	1			50	36	57	4
Acanthodiaptomus denticornis adult female		219		63		66	1		37	29	43	25	8
Acanthodiaptomus denticornis ad. fem. Ov.		175		13	1	14				43	43	32	
Cyclops andere (bohater, vicinus)							9						
Cyclops abyssorum C1-C3	880	1694	1030	2980	1330	1793	670	330	31	79	100	360	190
Cyclops abyssorum C4-C5	1325	530	2040	1282	770	890	610	280	180	150	150	130	160
Cyclops abyssorum adult male	125	228	94	544	260	161	140	140	31	4	18	78	40
Cyclops abyssorum adult female	115	184	189	498	148	106	71	56	34		4	25	19
Cyclops abyssorum ad. fem. Ov.	85	25	180	25	98	9	21	64	23	4		7	2
Mesocyclops		4328	1700	5690	1790	2220	770	2700	1300	550	2200	1700	880
Nauplien aller Copepoden													
Total [Ind./m3]	8'551	9'018	12'651	12'123	8'340	11'212	4'789	2'417	1'596	6'674	5'796	4'216	1'730
Bosmina sp. TOTAL	88	1'566	1'869	1'382	2'682	2'309	468	197	347	2'518	2'024	1'542	291
Daphnia sp. TOTAL	45	2'163	880	3'071	544	4'152	103	33	169	1'420	1'500	960	76
Acanthodiaptomus sp. TOTAL	1'545	587	359	102	2	209	2	0	177	165	140	114	12
Cyclops sp. TOTAL	2'530	2'661	3'533	5'329	2'606	2'959	1'512	870	308	237	272	600	411
Nauplien aller Copepoden TOTAL	4'328	1'700	5'690	1'790	2'220	770	2'700	1'300	550	2'200	1'700	880	930
TOTAL	8'536	8'677	12'331	11'674	8'054	10'399	4'785	2'400	1'551	6'540	5'636	4'096	1'720

Champfèrer-See													
Crustaceenplankton	0-30m												
Tiefe der Probenahme	0-30m												
Datum der Probenahme	24.06.14	15.10.14	09.06.15	13.10.15	31.05.16	11.10.16	22.05.19	12.06.19	10.07.19	14.08.19	10.09.19	08.10.19	10.03.20
Phylopoda [Ind./m3]													
Bosmina longispina female juv.	8	385	150	88	450	420		33	73	56	50	50	160
Bosmina longispina fem adult	130	655	400	898	900	6440	67	110	190	1700	1400	160	1200
Bosmina longispina fem adult ov.	3		17	88	150	310	100	25		33	25	92	551
Daphnia rosea female juv.	15	470	122	830	13	860	67	67	130	520	560	280	58
Daphnia rosea female adult	23	830	84	1588	150	3150	25	42	13	5700	1300	1200	42
Daphnia rosea female ad. Ov.	8	125	25	1275	38	660	25	17	53	1100	720	520	
Daphnia Total Embryonen	45	260	150	2450	63	780	130	150	500	1400	1200	630	
Daphnia Männchen				13		13				94	8	8	
Ephippien										83			
Copepoda [Ind./m3]													
Acanthodiaptomus denticornis C1-C3	1728		203							300	25		
Acanthodiaptomus denticornis C4/C5	568				1	25			47	17	42	8	
Acanthodiaptomus denticornis adult male		63	17	13	1	190			7	75	25	42	
Acanthodiaptomus denticornis adult female		280		88		85	2			50	33	25	8
Acanthodiaptomus denticornis ad. fem. Ov.		100				63			7	92	7	42	
Cyclops andere (bohater,vicinus)										14			
Cyclops abyssorum C1-C3	2470	1650	3350	4500	1670	3020	860	870	140	330	720	1200	500
Cyclops abyssorum C4-C5	2807	1080	8700	1530	1700	1890	480	910	710	1100	820	440	370
Cyclops abyssorum adult male	280	930	163	920	76	770	110	110	27	83	110	350	170
Cyclops abyssorum adult female	123	263	336	650	53	450	58	190	67	75	120	170	75
Cyclops abyssorum ad. fem. Ov.	93	113	196	101	85	45	12	120	47			58	17
Mesocyclops										14			
Nauplien aller Copepoden	3585	6400	10000	5290	3800	4840	2400	2900	2700	7500	3800	850	1200
Total [Ind./m3]	11'886	13'604	23'913	20'322	9'150	24'011	4'336	5'544	4'739	20'308	10'965	6'125	4'351
Bosmina sp. TOTAL	141	1'040	567	1'074	1'500	7'170	167	168	263	1'789	1'475	302	1'911
Daphnia sp. TOTAL	76	1'215	259	5'326	251	4'603	180	209	566	8'377	3'228	2'358	42
Acanthodiaptomus sp. TOTAL	2'296	443	220	101	2	363	2	0	61	534	132	117	8
Cyclops sp. TOTAL	5'773	4'036	12'745	7'701	3'584	6'175	1'520	2'200	1'005	1'588	1'770	2'218	1'132
Nauplien aller Copepoden TOTAL	3'585	6'400	10'000	5'290	3'800	4'840	2'400	2'900	2'700	7'500	3'800	850	1'200
TOTAL	11'871	13'134	23'791	19'492	9'137	23'151	4'269	5'477	4'595	19'788	10'405	5'845	4'293

St. Moritzersee													
Crustaceenplankton	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-40m						
Tiefe der Probenahme	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-35m	0-40m						
Datum der Probenahme	23.06.14	14.10.14	10.06.15	14.10.15	01.06.16	12.10.16	23.05.19	11.06.19	10.07.19	14.08.19	10.09.19	08.10.19	11.03.20
Phylopoda [Ind./m3]													
Bosmina longispina female juv.	45	273	300	35	68	860		8	140	25	31	100	140
Bosmina longispina fem adult	83	2430	960	1970	210	8900	6	53	430	330	330	1000	710
Bosmina longispina fem adult ov.	7	230	108	143	5	393		30	38	25		110	200
Daphnia rosea female juv.	75	2370	1260	725	350	769	44	140	670	220	200	190	75
Daphnia rosea female adult	83	3120	360	1475	240	3030	25	60	770	2200	990	1600	250
Daphnia rosea female ad. Ov.	15	1180	136	893	58	762	13	60	620	140	290	490	19
Daphnia Total Embryonen	90	1470	1290	1837	112	1133	100	300	3100	160	310	590	38
Daphnia Männchen				75		24				6			
Ephippien													
Copepoda [Ind./m3]													
Acanthodiaptomus denticornis C1-C3	435	367	36	322	50	792			400	120	420	460	
Acanthodiaptomus denticornis C4/C5	775	92	19	215	13	377	19		160	480	310	450	19
Acanthodiaptomus denticornis adult male	350	900	108	1120	185	1280	110	98	25	130	550	240	350
Acanthodiaptomus denticornis adult female	150	790	185	1180	238	1100	69	180	100	200	380	540	380
Acanthodiaptomus denticornis ad. fem. Ov.	50	96	46	13	163	75	150	15	25	31	160	56	94
Cyclops andere (bohater,vicinus)	1079	850	1710	530	630	500	580	400	180	130	75	240	130
Cyclops abyssorum C1-C3	2134	710	2450	350	960	650	88	910	830	1100	480	170	88
Cyclops abyssorum C4-C5	323	420	149	435	150	590	6	170	150	75	120	130	44
Cyclops abyssorum adult male	180	480	211	190	50	280	4	60	210	62	100	100	6
Cyclops abyssorum adult female	35	63	235	63	32	33	2	53	130	13	13	65	6
Cyclops abyssorum ad. fem. Ov.													
Mesocyclops	9635	5800	6900	3110	7100	6700	1500	2000	11000	7000	4300	1100	1300
Total [Ind./m3]	15'544	21'641	16'463	14'681	10'614	28'248	2'716	4'537	18'978	12'447	9'065	7'579	3'849
Bosmina sp. TOTAL	135	2'933	1'368	2'148	283	10'153	6	91	608	380	361	1'210	1'050
Daphnia sp. TOTAL	188	5'770	1'786	4'280	410	4'949	138	420	4'490	2'506	1'590	2'680	307
Acanthodiaptomus sp. TOTAL	1'760	2'245	394	2'850	649	3'624	348	293	710	961	1'820	1'746	843
Cyclops sp. TOTAL	3'751	2'523	4'755	1'568	1'822	2'053	680	1'593	1'500	1'380	788	653	274
Nauplien aller Copepoden TOTAL	9'635	5'800	6'900	3'110	7'100	6'700	1'500	2'000	11'000	7'000	4'300	1'100	1'300
TOTAL	15'469	19'271	15'203	13'956	10'264	27'479	2'672	4'397	18'308	12'227	8'859	7'389	3'774

Mikrozooplankton		Silsersee					Silvaplanersee						
Datum der Probenahme	Einheit	23.06.14	14.10.14	01.06.16	12.10.16	11.06.19	08.10.19	14.6.2014	15.10.14	31.05.16	11.10.16	12.06.19	09.10.19
		Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l
Ciliaten													
<i>Askenasia volvox</i>		20	200	160		60		40	20	200	50		80
<i>Coleps hirtus</i>							20				10		
<i>Epistylis spp.</i>		40	60		20		20				30		40
<i>Halteria grandinella</i>				80	60		140	140		20	60	20	20
<i>Strobilidium spp.</i>		40							300	240	200	280	100
<i>Strombidium viride</i>			360	100	70	900	760	160				640	
<i>Tintinnidium fluviatile</i>		260				60						40	
<i>Tintinnopsis lacustris</i>		20				60	20		20			40	
<i>Urotricha farcta</i>			1'600			5'000							
<i>Vorticella sp.</i>													
Diverse Ciliaten klein		60	40	300	70	200	1'800	40	3'200	140	120	160	560
Diverse Ciliaten gross			40				20					40	40
<i>Trichodina</i>													
<i>Suctoria</i>					60	10		80					20
Amoeben	Amoeben									20		40	
Heliozoa										60			
Heliozoa unbest.						30			20	20			
Heterophys				20									
Rotatorien													
<i>Ascomorpha spp.</i>		12			20	60		20	20		30		40
<i>Asplanchna priodonta</i>							40						
<i>Conochilus</i>													
<i>Filinia sp.</i>					20	20	20			40			
<i>Gastropus sp.</i>				20									
<i>Kelliottia longispina</i>		20	20	60		60	60						
<i>Keratella quadrata</i>						20				20	10		
<i>Keratella cochlearis</i>		420		480	30				40	80	10		
<i>Polyarthra spp. (inkl. dolichoptera)</i>			100	100	40	80	40	40	60	30	80	20	
<i>Synchaeta spp.</i>		50		200		20		100		10			
<i>Trichocerca sp.</i>												20	
Diverse Rotatorien		80	20	80	10	140	20	20	40	80	30		
Rotatorien-Eier		400	20	540		180	20	60	100	40	60		
<i>Collothea</i>													
Mikrozooplankton		Champfèrersee					St. Moritzersee						
Datum der Probenahme	Einheit	24.06.14	15.10.14	31.05.16	11.10.16	12.06.19	09.10.19	23.06.14	14.10.14	01.06.16	12.10.16	11.06.19	08.10.19
		Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l
Ciliaten													
<i>Askenasia volvox</i>		200	140	500	40	20	40	20	180	180		80	20
<i>Coleps hirtus</i>			40			10							
<i>Epistylis spp.</i>		40				20	20		40	80	40		20
<i>Halteria grandinella</i>				20	20		40		20	60	100	30	420
<i>Strobilidium spp.</i>			140	20	30	160	120	20	820	380	140	640	160
<i>Strombidium viride</i>		400	1'000	320	480	340	1'200	660	40	80		100	
<i>Tintinnidium fluviatile</i>		400	60	20		20		40				20	80
<i>Tintinnopsis lacustris</i>		20		20	30	60	40	80	1'800	2'000	20	180	580
<i>Urotricha farcta</i>							20				20		20
<i>Vorticella sp.</i>		100	220	340	170	120	940	80					
Diverse Ciliaten klein			20					100	20	40		40	120
Diverse Ciliaten gross													
<i>Trichodina</i>													
<i>Suctoria</i>				120	60	10		210	20	100	60	40	40
Amoeben	Amoeben												
Heliozoa													
Heliozoa unbest.		20	40	120	20		20	60	40	40			
Heterophys													
Rotatorien													
<i>Ascomorpha spp.</i>					220	20		100	80		10		
<i>Asplanchna priodonta</i>								20				40	
<i>Conochilus</i>													
<i>Filinia sp.</i>						10							
<i>Gastropus sp.</i>			20	40	30						20	40	
<i>Kelliottia longispina</i>				60		60					20		
<i>Keratella quadrata</i>		80		30				120					
<i>Keratella cochlearis</i>		40	20	20	70	80	20	80	60	40	40	40	
<i>Polyarthra spp. (inkl. dolichoptera)</i>								120					
<i>Synchaeta spp.</i>					40	10	20	120					
<i>Trichocerca sp.</i>													
Diverse Rotatorien		100	20	40	10	40	20	210	20	100	60	40	40
Rotatorien-Eier		160		200	90	20	60						
<i>Collothea</i>													

7.2 Artenliste Phytoplankton

Phytoplankton		Silsersee						Silvaplanersee					
Datum der Probenahme	23.06.14	14.10.14	01.06.16	12.10.16	11.06.19	08.10.19		24.06.14	15.10.14	31.05.16	11.10.16	12.06.19	09.10.19
Einheit	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l		Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l	Ind./l
Cyanoprocyota													
<i>Aphanocapsa elachista</i>													
<i>Aphanothesse spp.</i>													
<i>Lyngbya</i>													
<i>Limnothrix planctonica</i>													
<i>Planktothrix Oscillatoria</i>													
<i>Pseudanabaena</i>													
<i>Dactylococcus</i>													
Chrysophyceae													
<i>Bilancia</i>													
<i>Chromulina spp.</i>													
<i>Chrysococcus</i>													
<i>Dinobryon cylindricum</i>													
<i>Dinobryon cylindricum</i> Var. <i>Alpina</i>													
<i>Dinobryon divergens</i>													
<i>Dinobryon sociale</i>													
<i>Mallomonas</i> spp.													
<i>Mallomonas acaroides</i>													
<i>Kephnyton</i> planktonicum													
<i>Kephnyton spirale</i>													
<i>Kephnyton</i> spp.													
<i>Ochromonas</i> spp.													
<i>Pseudokephnyton</i> / <i>Syn Kephnytopsis ovum</i>													
<i>Pseudopedinella</i> erikensis													
<i>Uroglena</i>													
Diverse Chrysophagellaten													
<i>Chrysolykys</i>													
<i>Chrysamoeba</i>													
<i>Craspedomonadaceae</i>													
Haptophyceae													
<i>Chrysochromulina parva</i>													
400'000	40'000	20'000	5'100	44'000	190'000				10'000		20'000	48'000	
Xanthophyceae													
<i>Bryothrix</i>									4'800				
<i>Pseudotetrella</i>													
Bacillariophyceae Centrales													
<i>Melosira</i>									200				
<i>Aulacoseira</i> spp.													
<i>Cyclotella</i> klein													
<i>Cyclotella</i> commenis (Kettenebildend)													
<i>Cyclotella</i> radiosa (oligactis)													
<i>Cyclotella</i> gross (bodenica)													
<i>Stephanodiscus</i> parvus													
<i>Stephanodiscus</i> hantzschii													
<i>Stephanodiscus</i> astea/Neoastrea													
Diverse Centrales									20				
Bacillariophyceae Pennales													
<i>Achnanthes</i>													
<i>Asterionella</i> formosa/gracilima													
<i>Cocconeis</i> spp.													
<i>Cymbella</i> spp.													
<i>Diatoma</i> tenuis													
<i>Diatoma</i> vulgaris/hiemale													
<i>Fragilaria</i> construens/virescens													
<i>Fragilaria</i> ulna Sippe													
<i>Fragilaria</i> acus Var. angustissima													
<i>Fragilaria</i> arcus													
<i>Fragilaria</i> virescens													
<i>Fragilaria</i> acus Var. angustissima													
<i>Fragilaria</i> arcus													
<i>Fragilaria</i> gracilis													
<i>Fragilaria</i> virescens													
<i>Fragilaria</i> crotoneensis													
<i>Navicula</i> spp.													
<i>Nitzschia</i> spp.													
<i>Nitzschia</i> acicularis													
Meridion circulare													
<i>Syndra</i> cyclopum													
<i>Tabellaria</i> fenestrata/flocculosa													
Diverse Pennales													
Chlorophyceae/Prasinophyceae													
Volvocales													
<i>Chlamydomonas</i>													
<i>Phacus</i> spp.													
Diverse Volvocales													
Tetrasporales													
<i>Chlamydomopsis</i>													
Chlorococcales													
<i>Ankistrodesmus</i> falc.													
<i>Ankyla</i> / <i>Characium</i> spp.													
<i>Coenoclochloa</i> spp.													
<i>Oocysts</i> spp.													
<i>Coelastrum</i> microporum													
<i>Coelastrum</i> spp.													
<i>Bryococcus</i> braunii													
<i>Coenoclochloa</i> spp.													
<i>Elaktothrix</i> gelatinosa													
Eutetramorus													
<i>Didymocystis</i> spp.													
<i>Nephrocystum</i>													
<i>Monoraphidium</i> spp.													
<i>Planktosphaeria</i> spp.													
<i>Pseudokirchnerella</i>													
<i>Scenedesmus</i> spp.													
<i>Phacus</i> spp.													
<i>Pediastrum</i> boryanum													
<i>Scenedesmus</i> spp.													
<i>Tetraedron</i> minimum													
<i>Tetraedron</i> tetra lob.													
Div. Chlorococcales													
Conjugatophyceae													
<i>Closterium</i> aciculare									20				
<i>Cosmarium</i> depressum Var. <i>Planktonicum</i>									240				
<i>Cosmarium</i> spp.									30				
<i>Staurastrum</i> spp.									60				
<i>Mougeotia</i>													
Dinophyta													
<i>Gymnodinium</i> spp.									60				
<i>Gymnodinium</i> helveticum									140				
<i>Gymnodinium</i> lantzeschi									20				
<i>Ceratium</i> hirundinella									800				
<i>Peridinium</i> spp.									320				
<i>Peridinopsis</i> spp.									400				
Diverse Dinoflagellaten													
<i>Dinozysten</i>									120				
									6'500	10	920	60	
Cryptophyta													
<i>Cryptomonas</i> klein (erosa/pusilla)									4'800	4'400	5'600	520	20'000
<i>Cryptomonas</i> mittel (reflexa, marsonii, tetrapyrrenoidosa)									3'200	2'400	2'400	380	8'000
<i>Cryptomonas</i> gross (ovata, rostriformis)									20	800		20	2'000
Rhodomonas Klein (minuta, nannopl.)									6'000	48'000	14'000	20'000	40'000
Rhodomonas mittel (lacustris)									14'000	40'000	24'000	9'600	64'000
Rhodomonas lens									2'000	4'000	12'000	2'800	8'000
Katablepharia ovalis									52'000	16'000	8'000	800	100'000
Diverse Cryptophyceen													
										400	4'000		
Euglenophyta													
<i>Colacium</i>													
<i>Euglena</i>													
<i>Trachelomonas</i> spp.													
Bakterien (Proteobakterien)									90'000				
<i>Lepidothrix</i>													

Champfèrsee										St. Moritzersee																
24.06.14		15.10.14		31.05.16		11.10.16		12.06.19		09.10.19		23.06.14		14.10.14		01.06.16		12.10.16		11.06.19		08.10.19				
Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.		Ind./J.				
Cyanoproctaria																										
<i>Aphanocapsa elachista</i>			40'000																							
<i>Aphanothecaceae</i>			80'000																							
<i>Lynghaea</i>			400																							
<i>Limnothrix planctonica</i>																									600	
<i>Planktothrix Oscillatoria</i>																									4'000	
<i>Pseudanabaena</i>																									4'000	
<i>Dactylococcopsis</i>																										
Chrysophyceae																										
<i>Bitrichia</i>			1'600																						400	
<i>Chromulina spp.</i>																									100	
<i>Chrysococcus</i>																										
<i>Dinobryon cylindricum</i>			28'000																						3'800	
<i>Dinobryon cylindricum</i> Var. <i>Alpina</i>																										
<i>Dinobryon divergens</i>			2'400																						40'000	
<i>Dinobryon sociale</i>			170'000																						60'000	
<i>Mallomonas</i> spp.			1'200	200	800	400	80																	17'000		
<i>Mallomonas</i> acardiae																										
<i>Kephrynion</i> planktonicum																									170'000	
<i>Kephrynion</i> spirale																									14'000	
<i>Kephrynion</i> spp.																									16'000	
<i>Ochromonas</i> spp.																										
<i>Pseudokephrynion</i> /Syn. <i>Kephrynopsis</i> ovum			4'000	8'000	66'000																			18'000		
<i>Pseudopedinella</i> erkensis			2'000	2'000	30'000																			2'000		
<i>Uroglena</i>																									14'000	
Diverse Chrysophagellaten																									36'000	
<i>Chrysolykos</i>																									10'000	
<i>Chrysamoeba</i>																										
<i>Craspedomonadaceae</i>																									12'000	
Haptophyceae																										
<i>Chrysomullina</i> parva			87'000		20				10'000	240'000															32'000	
Xanthophyceae																									36'000	
<i>Botrychlois</i>																									2'000	
<i>Pseudotetriella</i>																									6'000	
Bacillariophyceae Centrales																										
<i>Melosira</i>																										
<i>Aulacoseira</i> spp.																										
<i>Cyclotella</i> klein			40																							
<i>Cyclotella</i> comensis (Kettenbildend)			340'000	1'200	450'000	8'000		270'000	41'000																	
<i>Cyclotella</i> radiosa /oligactis			20	220	8'000			100	14'000																	
<i>Cyclotella</i> gross /botanica								160	100															140		
<i>Stephanodiscus</i> parvus			52'000		180'000			200'000	6'000																	
<i>Stephanodiscus</i> hantzschii			24'000		10'000			36'000	1'000																	
<i>Stephanodiscus</i> asteira/Neoastrea								580																560		
Diverse Centrales																									120	
Bacillariophyceae Pennales																										
<i>Achnanthus</i>			48'000	8'600	11'000			52'000																		
<i>Asterionella</i> formosa/gracilima			21'000	6'100	4'000	2'000	200	7'300																		
<i>Cocconeis</i> spp.			20		400																					
<i>Cymbella</i> spp.					1'600																					
<i>Diatoma</i> tenuis			1'600		3'200			100																		
<i>Diatoma vulgaris/hiemale</i>																										
<i>Fragilaria</i> construens/virescens								30'000	300	88'000																
<i>Fragilaria</i> ulna Sipe			80	260	30	740																				
<i>Fragilaria</i> acus Var. angustissima																									100	
<i>Fragilaria</i> arcus								400																60		
<i>Fragilaria</i> virescens																										
<i>Fragilaria</i> acus Var. angustissima								100																		
<i>Fragilaria</i> arcus								400																		
<i>Fragilaria</i> graciliss																										
<i>Fragilaria</i> virescens																										
<i>Fragilaria</i> rotundensis								3'600																		
<i>Nitzschia</i> spp.			800		1'200																					
<i>Nitzschia acicularis</i>			800	1'900	20																					
<i>Meridion</i> circulare																										
<i>Synechocystis</i> cyclopum																										
<i>Tabellaria</i> fenessei/aff. <i>flocculosa</i>			200	1'300				10																		
Diverse Pennales			1'600	540	20	10																				
Chlorophyceae/Prasinophyceae																										
Volvocales																										
<i>Chlamydomonas</i>																									2'000	
<i>Phacus</i> spp.																										
Diverse Volvocales			400	800	8'000	150'000		2'000																		
Tetrasporales																										
<i>Chlamydocalpso</i>								3'800																		
Chlorococcales																										
<i>Ankistrodesmus</i> falc.																										
<i>Ankistrodesmus</i> falc.																										
<i>Coenoclosteris</i> spp.																										
<i>Oocystis</i> spp.																										
<i>Coelastrum</i> microporum																										
<i>Coelastrum</i> spp.																										
<i>Bolbycococcus</i> braunii								37'000	640	640																
<i>Coenoclosteris</i> spp.									2'800		2'600															
<i>Elakatolixis</i> gelatinosa								18'000																		
<i>Eutetramorus</i>								400		240	180		640													

Plankton-Analyse der Oberengadinersee: Silsersee, Silvaplanersee, Champfèrersee und St.Moritzersee 2019

Analysen und Berichterstattung:

Dr. HR. Bürgi, Limnologische
Dienstleistung/Forschung Uster

Einleitung:

Die Oberengadiner Seenlandschaft ist ein einzigartiges weltberühmtes Phänomen, das auch für Limnologen Seltenheitswert hat. Es gibt sehr wenige vergleichbare Studienobjekte in Hochtälern, die auch gut erreichbar sind. Demzufolge sind wenig Daten über solche gekoppelte Seen verfügbar.

Da die Seen durch den Inn in kurzen Abschnitten verbunden sind, kann ein gerichteter Artenaustausch entlang der Fliess-Strecke erwartet werden. In den Flussabschnitten zwischen den Seen können viele Planktonarten überleben. Fast jede Form, die im Silsersee beobachtet wird, erreicht auch die Unterliegerseen. Entgegen der Impfung, die von oben nach unten durch Verschleppung im Inn wirkt, dürfte die Plankton-Jahresdynamik aber auch von Eisbedeckung und Temperaturgang abhängig sein. Die oberen Seen (Silsersee und Silvaplanersee) sind fast doppelt so tief wie Champfèrersee und St. Moritzersee. Seen mit geringerer Tiefe weisen meist eine fröhliche und stabile Ausbildung der trophogenen Schicht auf, weil sich das Epilimnion schneller erwärmt. Hier sind schnellwüchsige, eigenbewegliche Planktonarten im Vorteil, weil nur sie genügend lange in der Oberflächenzone verbleiben können. Solche Arten erscheinen daher jahreszeitlich in den unteren Seebächen früher als im Silsersee.

Die tiefer reichende Schichtung in den tiefen Seen ermöglicht es hingegen auch grösseren und spezifisch schwereren Algenarten dort zu überleben; sie bleiben länger in der Schwebe. Auch die diurnale Migration des Zooplanktons und die Nährstoffkreisläufe mittels Wasserzirkulation ist in den zwei Seentypen verschieden. Entgegen der oberflächlichen Ähnlichkeiten sind die vier Seen, limnologisch betrachtet, individuell stark verschieden. Im langfristigen Vergleich kann erwartet werden, dass sich die Anstrengungen bei der Abwasserreinigung in einer Reduktion der Planktonbiomasse niederschlägt, was dann auch wieder dazu führt, dass die Stärke der Interaktionen von Zoo- und Phytoplankton abnimmt. Räuber-Beute-Zyklen verschwinden, wenn die Nahrungsbasis schmal wird.

Probenahme und Methodik:

Die Probenahmen erfolgten zu vergleichbaren Jahreszeiten (Mai/Juni bis Oktober) wie 2014-2016. wurden aber erstmals ergänzt mit einer Winterprobenahme unter Eis im März 2020.

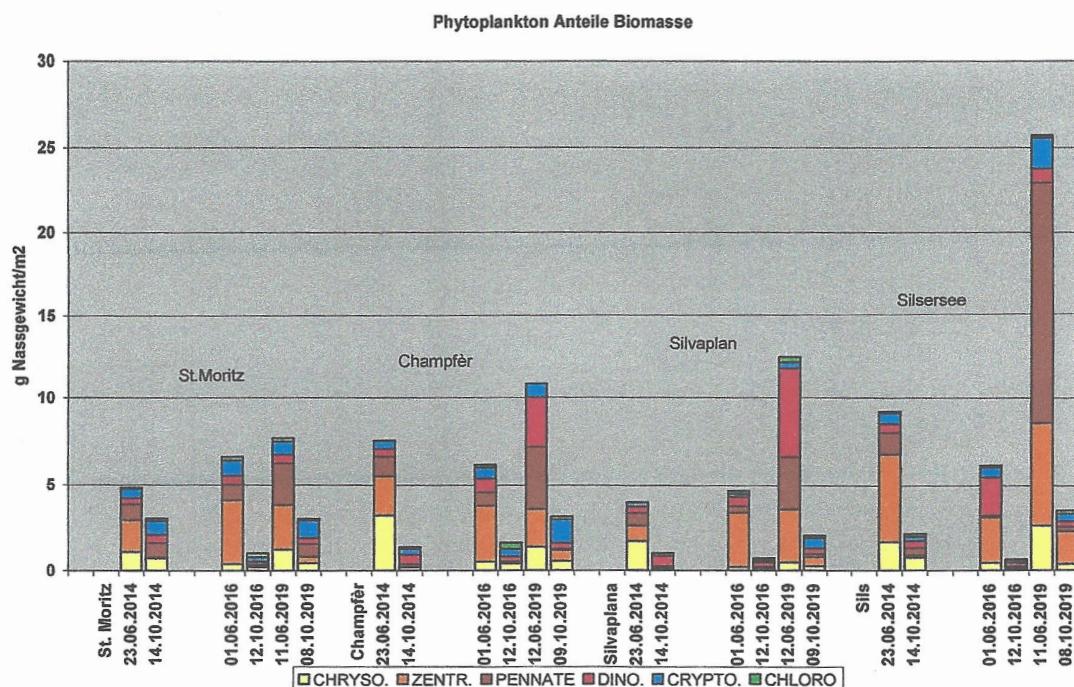
Phytoplankton und Mikrozooplankton wurden mit summierenden Wasserschöpfern von 0-20m erhoben und auf See mit Lugol fixiert. Die einzelnen Arten/Gattungen wurden in 50ml Absetzkammern angereichert und im Umkehrmikroskop gezählt. Wenn möglich wurden 40 bis 100 Teilstufen analysiert, um den statistischen Zählfehler unter 20% zu halten.

Das Crustaceenplankton wurde mit einem Zwillingsnetz mit 95 Mikron Maschenweite (System Bürgi) von Grund bis zur Oberfläche je 2x beprobt. Die Proben wurden in situ mit Formol fixiert. Die Individuendichte wurde mit Hilfe von Stereomikroskopen in 3 Subsamples ermittelt und auf 1m² Seefläche hochgerechnet (Faktor 25). Die Umrechnung von Individuendichte zu Biomasse (Frischgewicht) erfolgte anhand von langfristig gemittelten Volumina.

Biomassenentwicklung des Phytoplankton

Der Vergleich der wichtigsten systematischen Gruppen zeigte gegenüber den früheren Erhebungen grosse Unterschiede. Cyanobakterien und Euglenale wurden in der Graphik weggelassen, da sie in

geringer Biomasse vorkamen. Der Juniwert 2019 war in allen Seen markant höher als in allen früheren Proben. Die Herbstproben waren demgegenüber mit früheren Analysen vergleichbar. Wesentliche Biomassebildner waren die Kieselalgen, Chrysoflagellaten und Dinoflagellaten. Der Juni entspricht aufgrund der thermischen Bedingungen im Engadin einer Frühjahressituation von Mittellandseen: Die Planktonalgen zehren dann von den Nährstoffreserven aus der unproduktiven Winterzeit und können sich anhand der hohen Lichteinstrahlung sprunghaft vermehren.

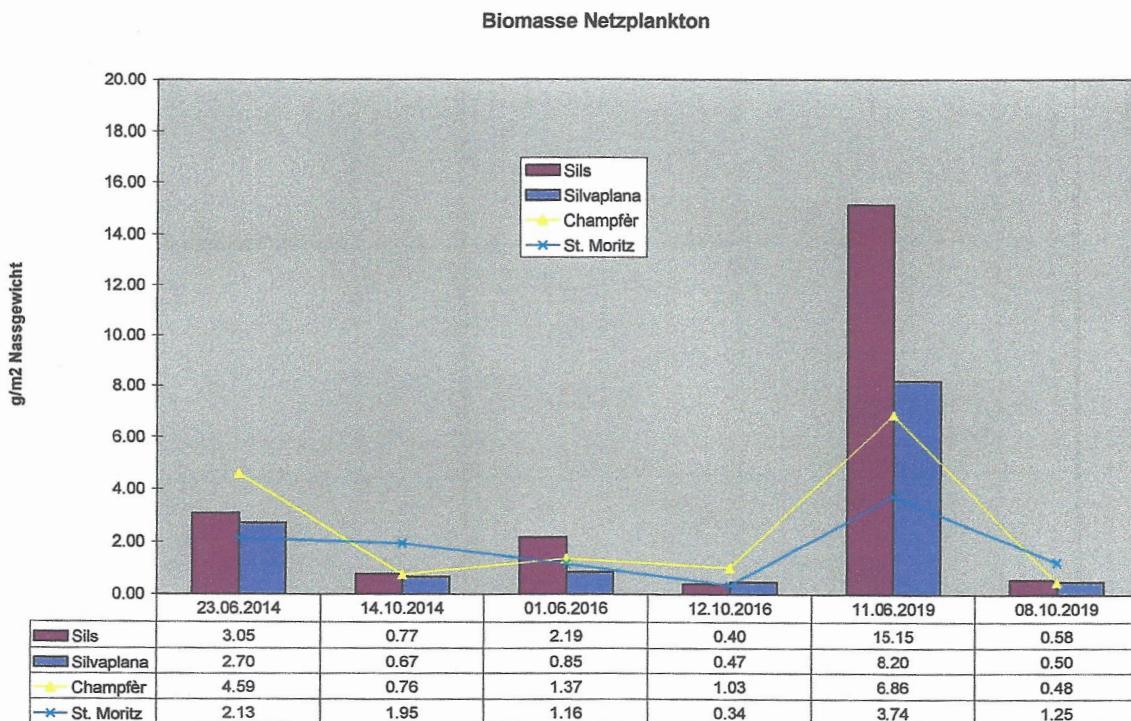
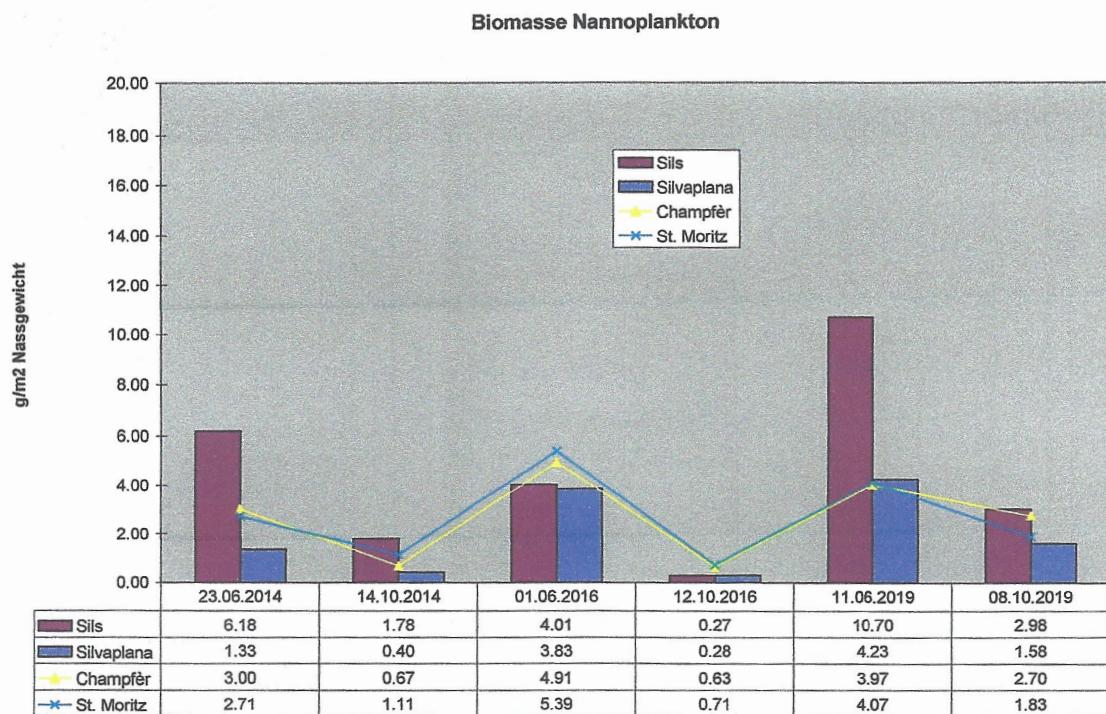


Chrysoflagellaten, Dinoflagellaten und Cryptoflagellaten sind beweglich und schichten sich an der Oberfläche ein, wo genug Licht zur Verfügung steht. Kieselalgen und die meisten Grünalgen sind passive Plankton, sie sinken individuell ab. Dort, wo die windgetriebene Zirkulation grösser ist (z.B: im Silsersee), werden sie aber immer wieder an die Oberfläche zurückgeholt und überleben auch länger. Für das filtrierende Zooplankton ist die Biomasse des Nannoplanktons wichtig, wogegen greifende Zooplankton die grösseren Formen (genannt Netzplankton) bevorzugen.

Ein Blick auf die Zooplanktonbiomasse im Mai/Juni zeigt, dass die Herbivoren zu dieser Jahreszeit noch keinen Einfluss auf das Phytoplankton haben können. Im Juni 2019 sind die Nahrungstöpfe sowohl der filtrierenden Cladoceren wie der greifenden Copepoden prall gefüllt. Nanno- wie Netzplankton ist in ausreichender Menge vorhanden, aber das Zooplankton wächst aufgrund der tiefen Temperatur so langsam, dass es die Nahrungsbasis nicht spürbar schmälert. Es vergehen noch zwei Monate, bis das Zooplankton Werte erreicht, bei denen es die Nahrung dezimiert. Wie viel Nahrung es im August gehabt hat, bleibt fraglich, da keine Sommer-Daten vom Phytoplankton vorliegen. Ein vergleichbares Klarwasserstadium wie es in eutrophen Mittellandseen im Mai/Juni üblich ist, kann im Engadin allenfalls im Sommer/Herbst manifest sein.

Eine genauere Betrachtung der Zooplanktonreihen zeigt jedenfalls, dass vermutlich schon im Spätsommer 2019 ein Futtermangel für filtrierende Kleinkrebse vorhanden war, denn bereits ab Mitte August treten Daphnia-Männchen auf. Diese werden erst bei Verschlechterung der Produktionsbedingungen gebildet, sie signalisieren also eine Mangelsituation zu dieser Zeit. Selbst die grösseren Algen sind jeweils im Oktober nur noch minimal vorhanden. Neben einem gewissen Frassdruck durch die hungrigen Zooplankton, die jetzt bei allgemeinem Nahrungsmangel

auch spärige Algen fressen, liegt das daran, dass die Nährstoffreserven im See weitgehend aufgebraucht sind.

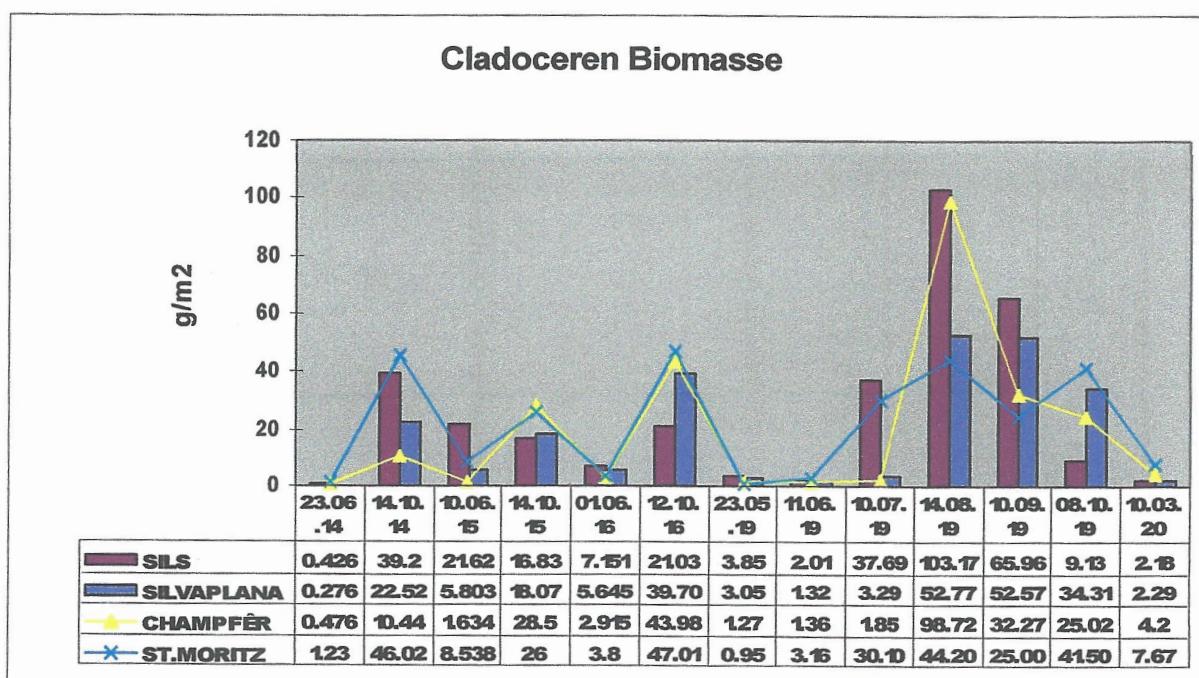


Der Winter 2019/20 mit langer Schwarzeis-Phase ohne Schneebedeckung dürfte den Start der Biomasseentwicklung deutlich verschoben haben. Die im März 2020 geschöpften Crustaceenproben

enthielten jedenfalls zahlreiche Kieselalgen. Unter Eis und Schnee hätten diese im Normalfall zu wenig Licht. Da die Turbulenz unter Eis deutlich geringer ist als bei offenem See, nimmt die Sedimentationsrate der Algen zu. Ohne zusätzliches Licht durch das klare Eis wäre eine so hohe Biomasse nicht möglich. Nachdem nun die erste Phytoplankton-Entwicklung so früh losgegangen ist, dürfte der link zwischen Phyto- und Zooplankton im 2020 sehr schwach werden. Die Algenbiomasse hat dann im Sommer, wenn das Zooplankton kommt, schon mit den Nährstoffen aufgeräumt und lebt vom limitierten Nachschub während der Vegetationsperiode. Die NahrungsPyramide ist dann extrem bottom-up bestimmt. Da aber keine quantitativen Phytoproben geschöpft wurden, ist dieser Befund ohne exakte Basis nicht überprüfbar. Prognosen sind auch hier also schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen.....

Biomassenentwicklung des Crustaceenplankton

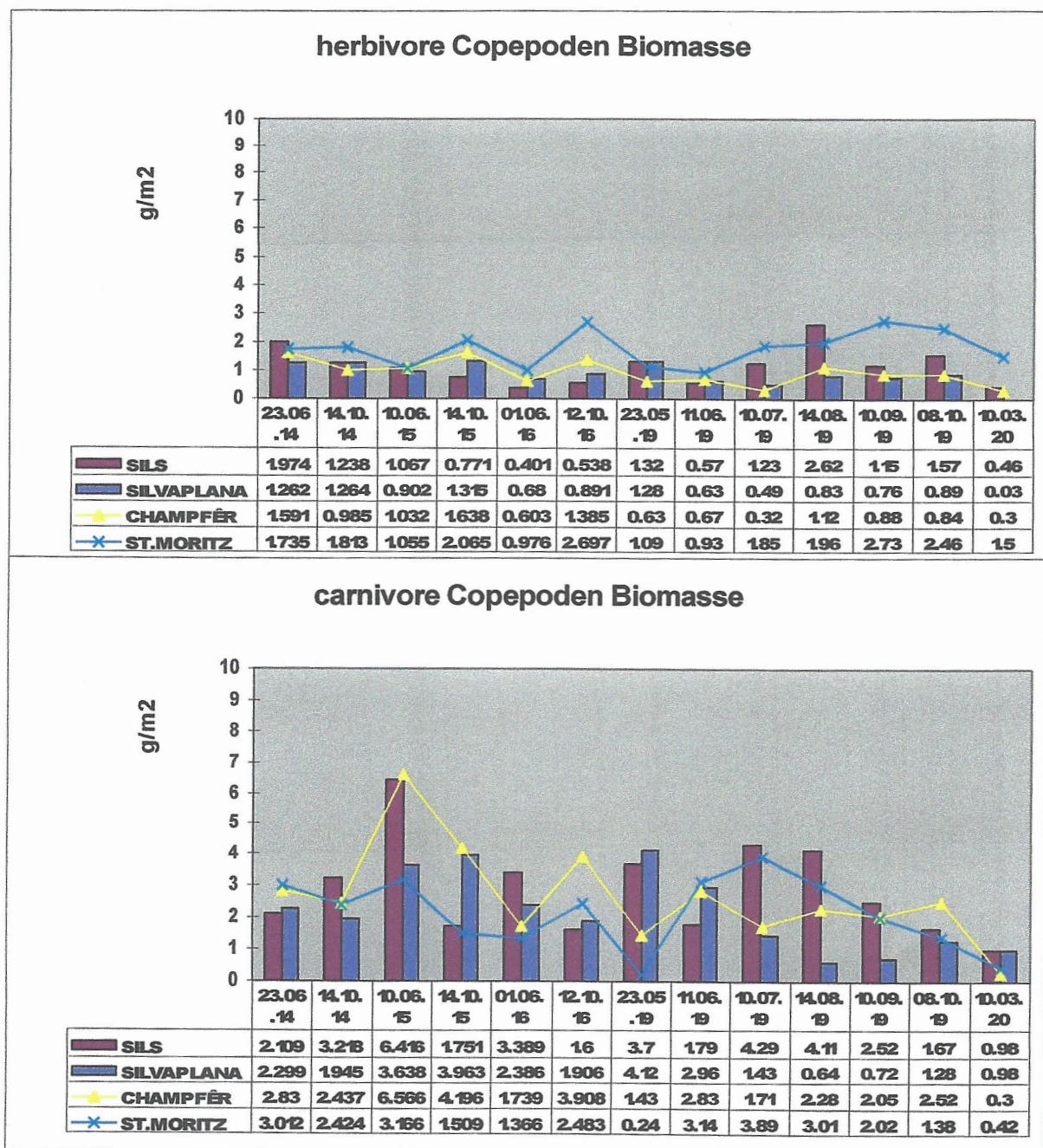
Das Zooplankton besteht im Wesentlichen aus drei Gruppen: den Einzellern (Protozoa), Räderieren (Rotatoria) und Kleinkrebsen (Crustacea). Für die planktivoren Fische sind letztere von Bedeutung. Die Kleinkrebs unseres Seenplanktons gehören zu den Cladoceren „Wasserflöhen“ mit den Gattungen *Bosmina*, *Daphnia* und *Diaphanosoma* und den Copepoden (Ruderfusskrebse) mit Cyclopiden und Diaptomiden. Die Cladoceren der Engadinerseen sind alle algivor, die Raub-cladoceren (typische Sommerformen) fehlen, vielleicht auch deshalb, weil der Sommer so kurz ist. Das Nahrungsangebot für die Fische basiert vorwiegend auf den Cladoceren. Sie erreichen 5-10 mal höhere Biomassen als die Ruderfusskrebse (Copepoden).



Die Räuberdichte unter den Kleinkrebsen ist so gering, dass sie nicht in der Lage ist, das gesamte Zooplankton zu kontrollieren. Bei genügend Nannoplankton können deshalb die Bosminen und Daphnien als wichtigste Cladoceren innerhalb kurzer Zeit hohe Biomassen aufbauen. Diese Cladoceren sind dann aber so zahlreich, dass sie in der Folge ihre eigene Futterbasis radikal abweiden (grazing), so dass es zum Zusammenbruch des Nannoplanktons kommt. Die Fertilität der Crustaceen nimmt dann stark ab: die meisten Cladoceren haben im Oktober kaum mehr Jungtiere im Brutraum.

Die Copepoden teilen sich auf in algivore Schwebekrebse (hier *Acanthodiaptomus*) und verschiedene Cyclopsarten. Die adulten Cyclopsarten sind carnivor, also ihrerseits kleine Räuber,

die sich von Rädertieren und Kleinkrebsen ernähren, und dabei auch kannibalisch vegetieren können, also zuweilen ihre eigenen Jungtiere, welche noch von Algen leben, fressen. Diese Wechselwirkungen dienen dazu, dass eine Art nicht so schnell ausstirbt, wenn mal zu wenig Nahrung vorhanden ist. Zum langfristigen Überleben dienen auch Diapausen, welche oft am Grunde der Gewässer verbracht werden. Einzelne definierte Jugendstadien oder auch Dauereier sind dazu geschaffen, die unwirtlichen Bedingungen am Seegrund (tiefe Temperaturen und wenig Sauerstoff) während Monaten zu überdauern. In den Engadinerseen sind diese Stadien auch bekannt. Auch in den Herbstproben 2019 wurden sog. Ephippien registriert, welche mehrere Jahre im Sediment überleben können. Bei den nachfolgenden Abbildungen ist zu beachten, dass die Werteskala bei den Copepoden gegenüber den Cladoceren 10fach gespreizt ist.



Die Ruderfusskrebse verzeichnen innerhalb eines Jahres geringere Sprünge, sind also fast immer in irgend einer Lebens-Phase vorhanden, denn die Entwicklung (temperaturabhängig) vom Ei zum geschlechtsreifen Tier führt über 6 Nauplien- und 5 Copepoditstadien und dauert mehrere Monate. Während der Wintermonate unter Eis sind zwar noch Zooplanktoniere vorhanden, aber sehr verdünnt. Cladoceren wie Copepoden sind gleichermassen rar. Für die Fische, welche im Winter laichen, fehlt dann in der Anwachsphase der Jungtiere das Futter. Der ganze Fischbestand muss sich auf das Angebot zwischen Mai und November einstellen. Erwachsene Fische können zwar lange fasten, insbesondere im kalten Wasser. Aber wenn die Nahrung in empfindlichen Lebensabschnitten fehlt, nützt es nichts, wenn später alles im Uebermass vorhanden ist, es überleben dann nur wenige.

Interaktionen innerhalb der planktischen Nahrungskette.

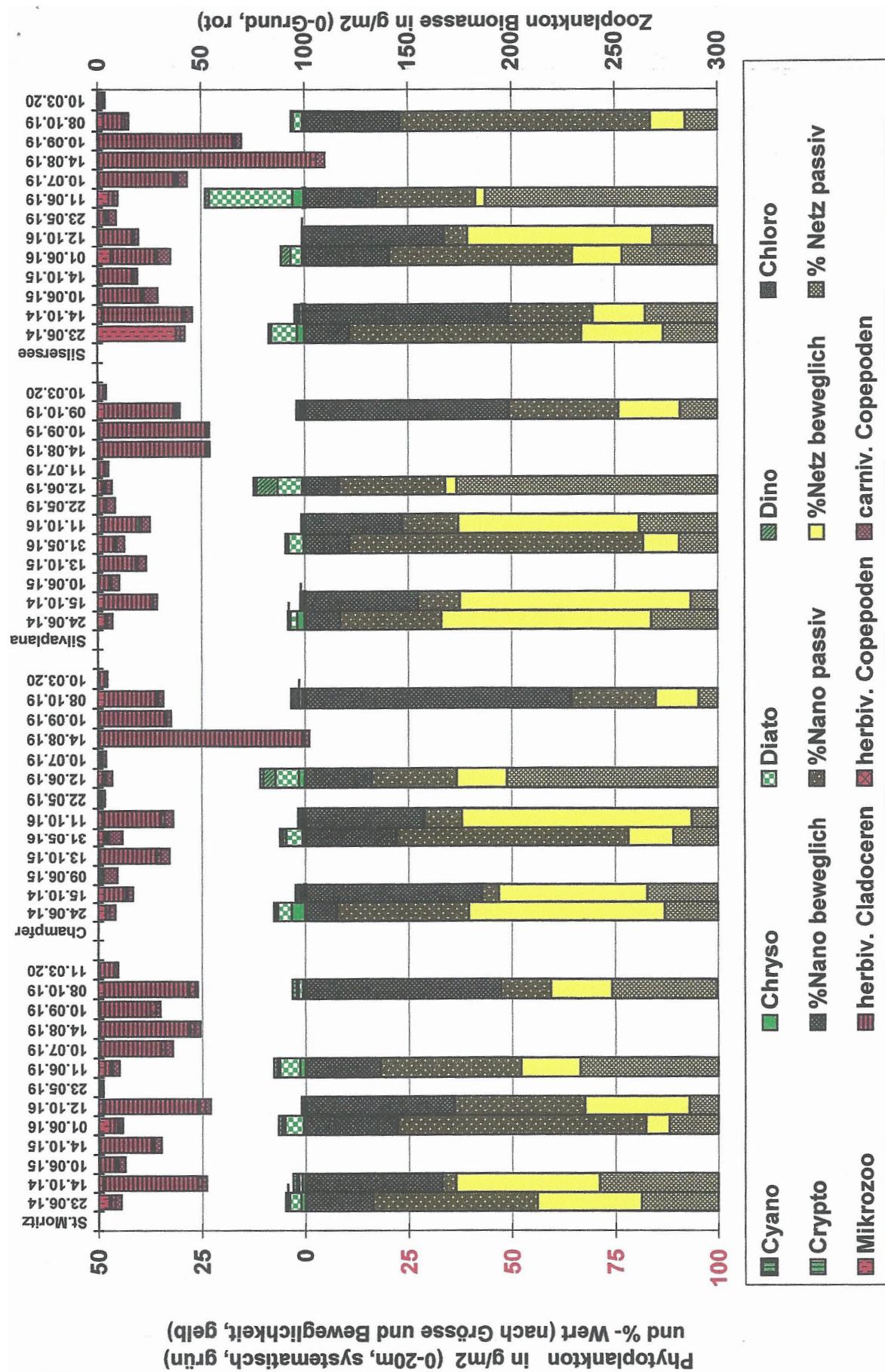
In der folgenden Abbildung mit Phytoplankton (absolut in g/m² grün; und relativ 100 % , gelb) und Zooplankton absolut in g/m² (umgekehrte Achse, rot) könnte auf eine Räuber-Beute-Beziehung geschlossen werden, denn höhere Algenbiomassen sind immer dann vorhanden, wenn das Zooplankton selten war (Mai/Juni-Situation) und bei höheren Zooplanktonbiomassen war umgekehrt die Algenbiomasse gering. Die Mikrozooplankter wurden in der gleichen Probe wie die Algen bestimmt und gezählt. Sie sind zu klein für eine quantitative Beprobung mit Netzen (sie schlüpfen durch die Maschen). Bei den 2019-Probenahmen wurden die Crustaceen monatlich, die Algen und Mikrozooplankter nur halbjährlich erhoben. Die roten Säulen der Zooplankter sind daher mit Ausnahme der Juni/Oktoberdaten unvollständig.

Allerdings ist der relative Biomasse-Anteil der Mikrozooplankton- Formen im Jahresmittel gering. Einzig im Frühjahr sind die Protozoen und Rotatorien ähnlich schnell in der Entwicklung wie die Algen. So grosse Anteile wie im Juni 2014 im Silsersee erreichten die Mikrozooplankter aber seither in keinem See mehr.

Während es nicht ausgeschlossen werden kann, dass die tiefen Herbstkonzentrationen des Phytoplanktons durch Frassverluste durch herbivore Zooplankter mitverursacht sein können, trifft es hingegen im Umkehrschluss nicht für die Situation im Mai/Juni zu, denn die hohen Frühsommerwerte des Phytoplanktons sind physikalisch bedingt (siehe vorne). Ein Hinweis auf eine mögliche übermässige Weideaktivität sind die relativen Anteile der Nanoplankter. Die selektive Bevorzugung von Zwergplanktern durch die Filtrierer und Strudler müsste diese Fraktion gegenüber den schlecht verwertbaren Netzplanktonarten unter Druck setzen. 2019 schien aber genau das Umgekehrte stattgefunden zu haben: Im Oktober überwiegen Nanoplankter. Bei den hohen Cladocerenwerten im August kann aber durchaus auf eine Overgrazing -Periode geschlossen werden. Biomasse-Werte von über 100g/m² Nassgewicht sind auch in andern Seen (mit guter Datenbasis) in der Lage, das Phytoplankton radikal auszufiltern. Die schon erwähnte Ausbildung von Männchen (bei Mangel) und die Produktion von Dauerstadien unterstreicht diese These.

Auch in eutrophen Mittellandseen geht die Entwicklung des Phytoplanktons schon früh los, ohne, dass das Zooplankton das Wachstum kontrollieren kann. Dieses hinkt temperaturbedingt 1-2 Monate hinterher. Erst dann kann es über top-down- Kontrolle die Algenbiomasse steuern.

Allfällige phasenverschobene Entwicklungslinien innerhalb der Crustaceen , welche als Räuber-Beute Beziehungen interpretiert werden könnten, sind oft nur das Resultat der Weiterentwicklung einer Kohorte von (herbivoren) Copepoden-Jugendstadien zu carnivoren Adultstadien. Zuerst hat es viele Jungstadien, die dann langsam erwachsen werden, wodurch es aussieht, als ob die herbivoren Tiere gefressen worden wären und die Carnivoren an Biomasse zugelegt hätten. Es sind aber meist immer noch die gleichen Tiere, die jetzt ihre Funktion gewechselt haben.



2019 war klimatisch gesehen ein Ausnahmejahr mit viel Sonnenschein und hohen Temperaturen. Abgesehen von zwei Kaltluftsteinbrüchen waren die Verhältnisse auch im Oberengadin hochsommerlich. Dies dürfte sich auf das Plankton ausgewirkt haben. Heisse Jahre sind meist auch trockene Jahre. Wegen geringerem Niederschlag gelangen dann weniger Nährstoffe in den See. Der See verarmt an Nährstoffen und wird in der Folge auch transparenter. Die Algendichte sinkt bei Nährstoffmangel trotz guten Lichtverhältnissen. Da aber durch die bessere Transparenz der Oberflächenzone mehr Lichtenergie in tiefere Seeschichten vordringen kann, dehnt sich umgekehrt die trophogene Zone in die Tiefe aus und lässt die Nutzung der dortigen Nährstoffreserven zu. In der Summe dürfte es deshalb auf die Fläche summiert ähnlich viel Produktion gegeben haben, wie in einem kühleren, nassen Jahr. Allerdings bleibt die Dichte der Algen, welche für die Weitergabe in der Nahrungskette wesentlich ist, geringer. Ein einzelnes Zooplankontier kann nur ein gewisses Volumen pro Zeit nach Nahrung durchkämmen. Wenn es in diesem weniger Energie hat, wächst es nicht so schnell. Dafür ist der Nahrungsvorrat insgesamt gross und stabil und hält länger.

Diversität und Evenness

Wie schon in den früheren Berichten, berechnet ein Computerprogramm aus den Individuendichten bzw. Biomasseanteilen für einzelne Planktongruppen auch die Shannon- Indices und Ausgewogenheitsrelation (Diversität / max. mögliche Diversität bei ausgewogener Besiedelung).

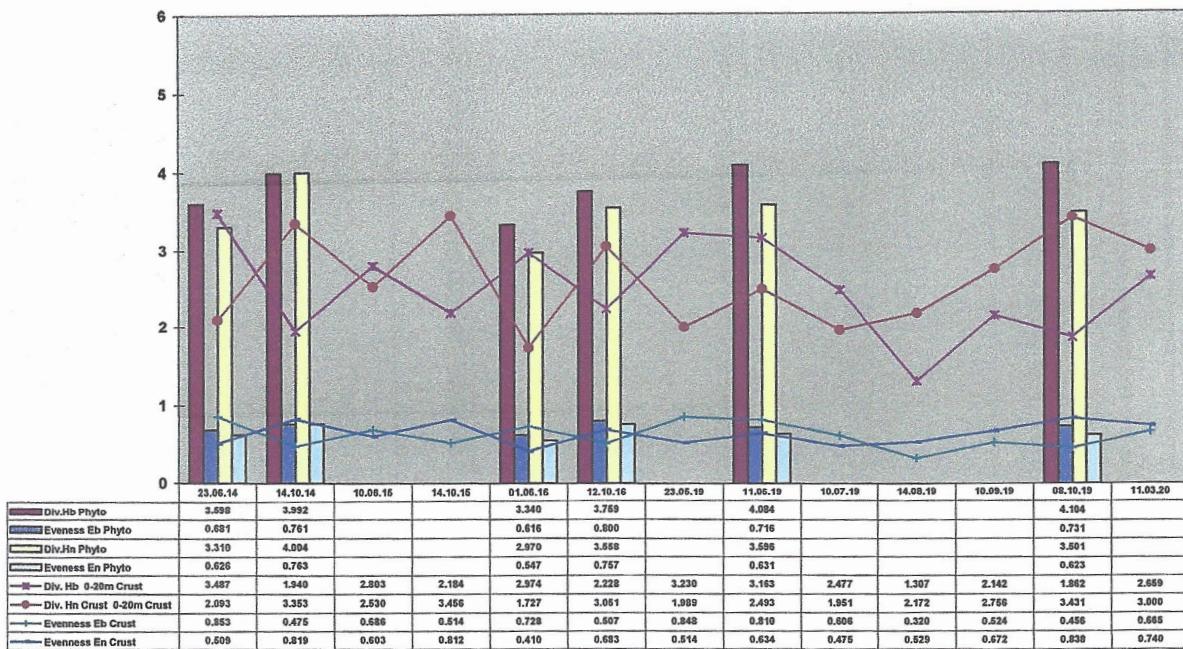
Die Diversitäts-Indices sind auch von der Artenzahl abhängig. Für unterschiedlich grosse oder funktionell verschiedene Gruppen muss die Diversitätsberechnung separat durchgeführt werden. In unserem Fall sind sie für Phytoplankton und Crustaceenplankton berechnet worden.

Die Phytoplanktonevenness lag meist zwischen 0.45 bis 0.8 was bei einer maximal möglichen Diversität von 5.5 einen Diversitätsindex von ca. 3 bis 4 ergab. Die Phytoplankton-Diversität (Säulen) war in den unteren Seebecken generell höher als im Silsersee/Silvaplanersee. Die geringere Diversität im Silsersee beruht auf der starken Entfaltung von Kieselalgen, welche relativ schwer sind und die Biomasse in die Höhe treiben. (siehe Mikrofoto unten) Bei einer mittleren bis guten Ausgewogenheit und im Schnitt 36 Phytoplanktonarten können die Engadinerseen aber durchaus als gesund angesehen werden. Sie sind nicht durch Massenentfaltungen einzelner Arten geprägt. Beim Phytoplankton sind meist kleinere Arten zahlreicher als grössere. Die wenigen grossen Formen ergeben aber ähnlich hohe Biomassen wie viele kleine Formen zusammen. Diese Regel gibt eine bessere Ausgewogenheit auf der Basis der Biomassen (dunkelblau), als bei den Indices, welche auf der Individuendichte basiert (hellblau).

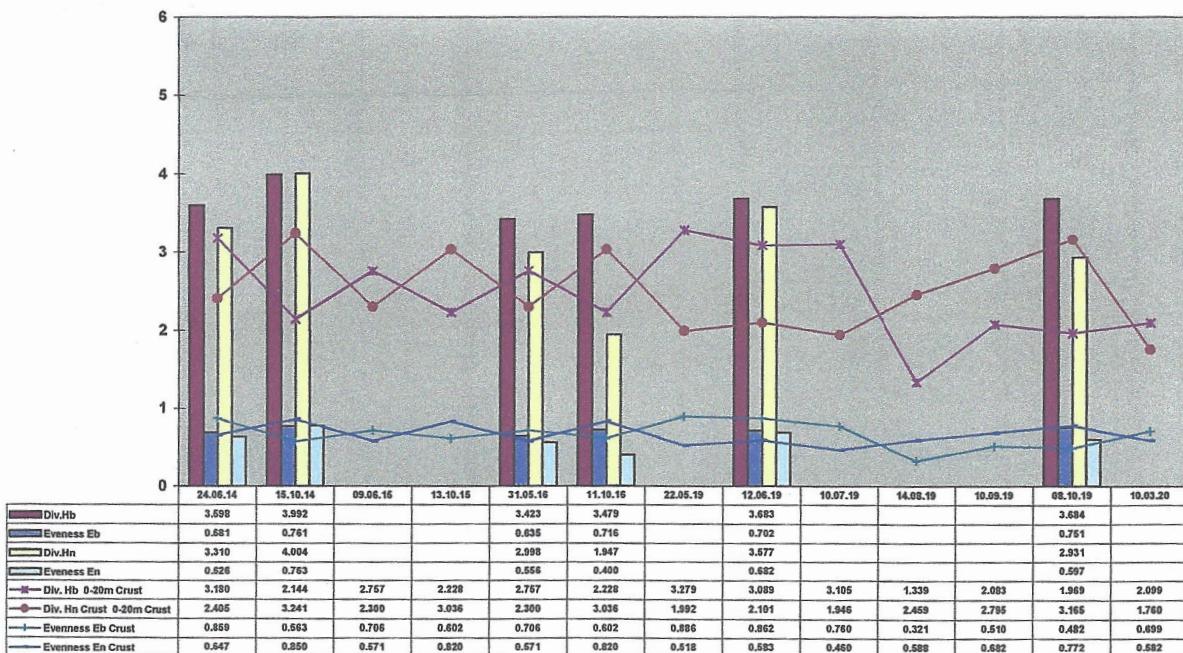
Bei den Zooplanktonindices (Linien) waren durchwegs tiefere Werte zu verzeichnen, da die geringere Artenvielfalt zu tieferen maximalen Werten Hmax führt (<3bis>4). Die Eveness hingegen war fast immer höher als beim Phytoplankton.

Hier lagen oft auch die Biomasse -basierten Werte unter den Berechnungen, welche gemäss Definition aus den Individuendichten hergeleitet werden. Beim Zooplankton waren eher die grossen Cladoceren in einem exponentiellen Wachstum. In der Praxis bewirken dann viele grosse Tiere (z.B. Daphnien) eine unausgewogene Biomasseverteilung, während die Eveness auf die reine Individuenzahl bezogen, mit kleineren Arten vergleichbar blieb.

Diversität und Eveness St.Moritz

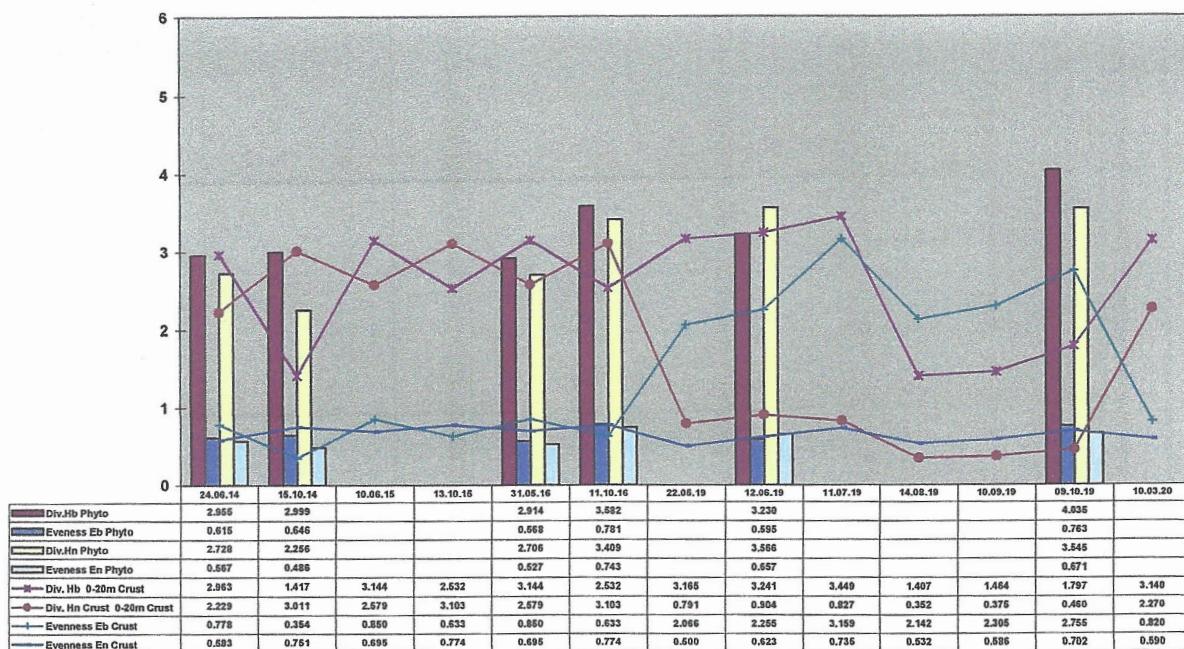


Diversität und Eveness Champfèr

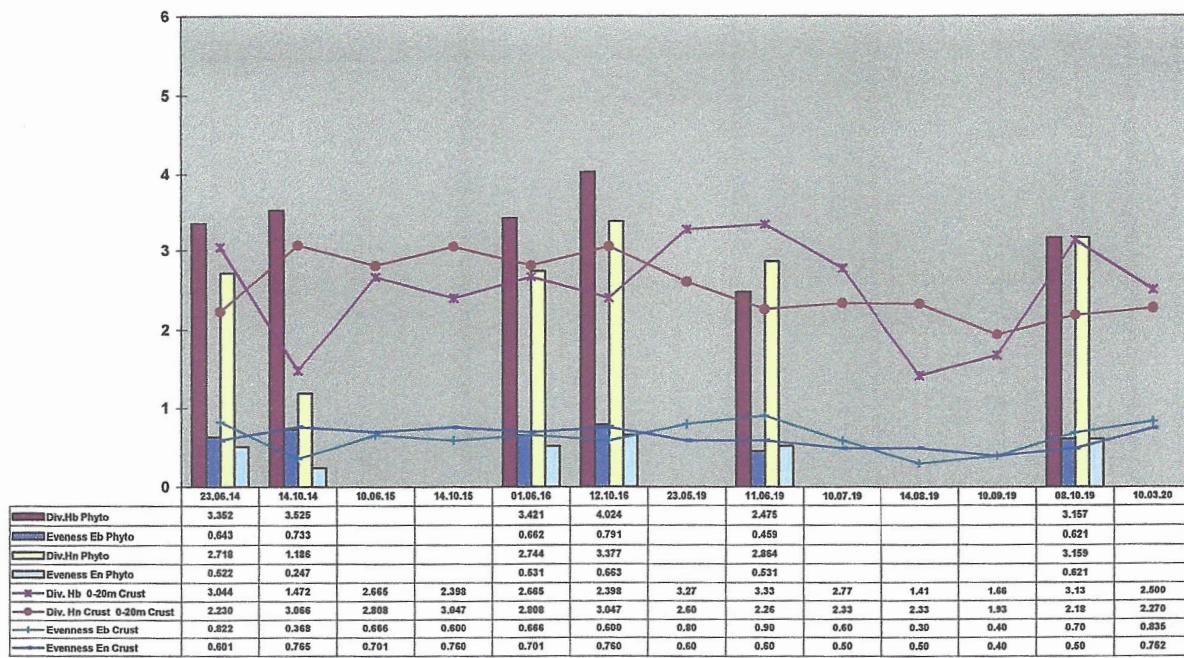


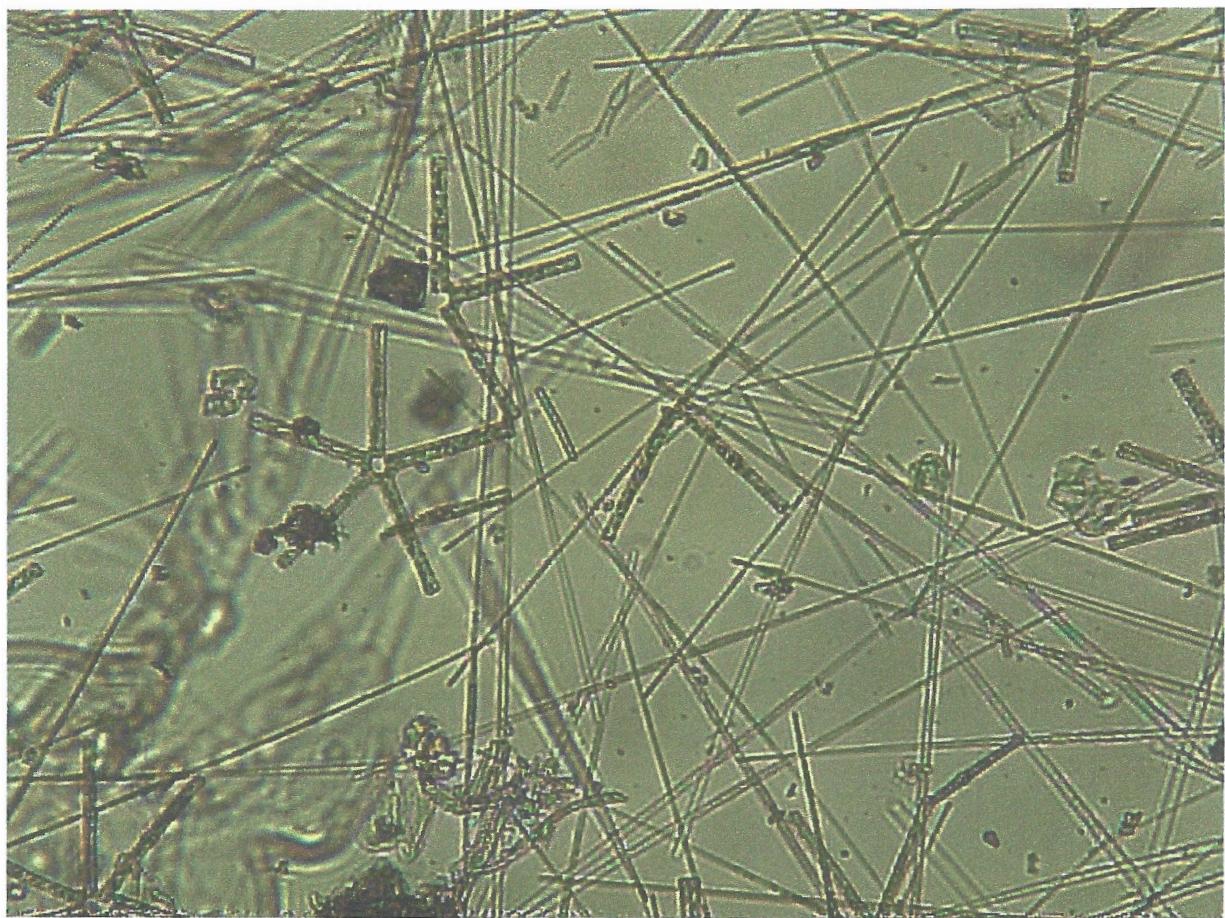
Die Indices des Phytoplanktons sind als Säulen, diejenigen des Zooplanktons als Linien dargestellt

Diversität und Eveness Silvaplana



Diversität und Eveness Sils





Phytoplankton Silsersee 11.6.2019 mit zahlreichen grossen pennaten Kieselalgen

Anhang zu Bericht Planktonanalysen Engadinersee 2019/20

- Zähllisten Phytoplankton
- Zähllisten Mikrozooplankton
- Zähllisten Crustaceenplankton

Die Computerdateien und Ausdrucke mit den Biomasse-Berechnungen wurden digital übermittelt.