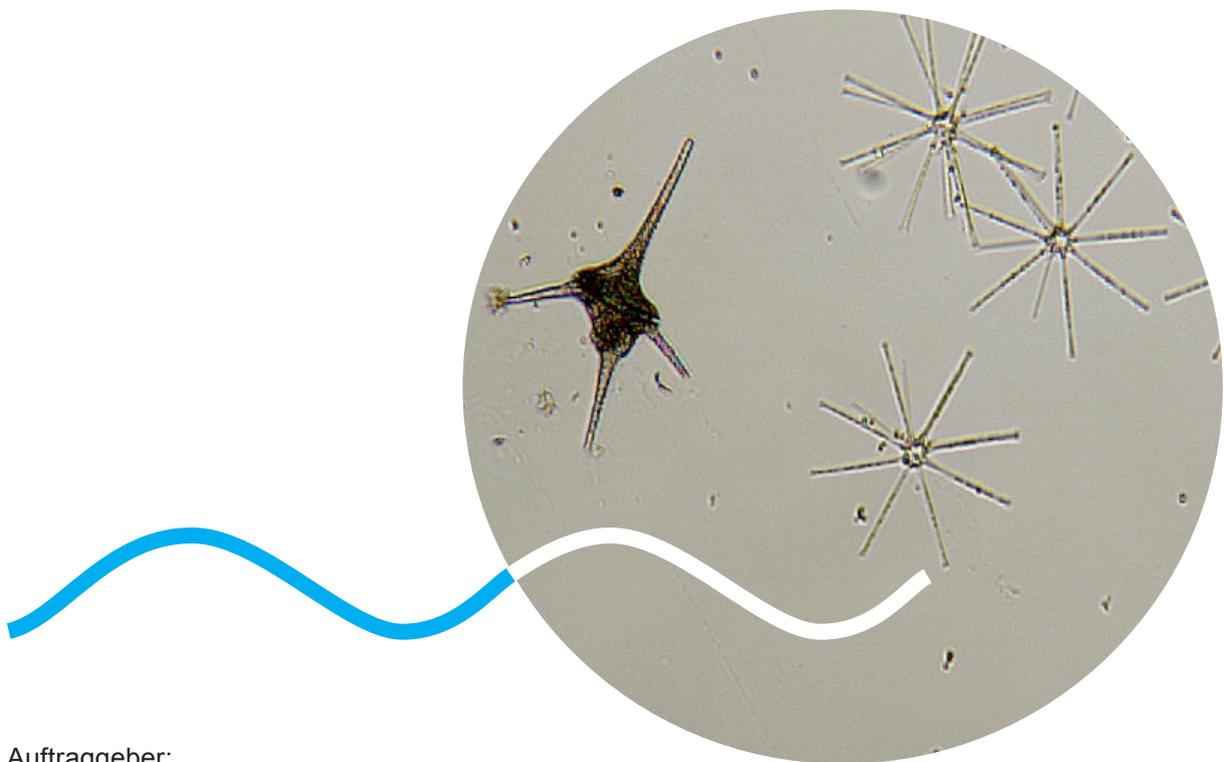




Fischereiliche Abklärungen zum Rückgang der Fischfangerträge in den Oberengadinerseen

Inkl. Beurteilung des Planktons von 2014-2016



Auftraggeber:
Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
Loestrasse 14
7001 Chur

Impressum

Limnex-Projekt 2603
5200 Brugg
08. September 2017

Bearbeitung

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

Auftraggeber

Amt für Jagd und Fischerei Graubünden
Loestrasse 14
7001 Chur

Titelbild

Phytoplankton in den Oberengadiner Seen (Foto: © HR. Bürgi)

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
3	Grundlagen	6
4	Limnologischer Zustand der Oberengadiner Seen	7
5	Plankton	8
5.1	Probenahmezeitpunkt und -methodik	8
5.2	Phytoplankton	8
5.3	Zooplankton	10
6	Fischereiliche Aspekte	13
6.1	Ansätze zur Berechnung des Fangertrages	13
6.2	Auswertung der kantonalen Fischereistatistik	16
6.3	Theoretischer Fangertrag in den Oberengadiner Seen	16
7	Schlussfolgerungen	21
8	Literatur	22
9	Anhang	23
9.1	Berichte Plankton 2014-2016 (HR. Bürgi)	23
9.2	Fotodokumentation Plankton	37
9.3	Fischereiliche Korrelationen	39

1 Zusammenfassung

In den Oberengadiner Seen wurde in den letzten Jahren ein starker Rückgang der Fischfangerträge verzeichnet, wobei insbesondere die Seesaiblingfänge erheblich abnahmen. Um die Ursachen für diesen Rückgang zu ermitteln, wurden die vier Oberengadiner Seen von 2013-2016 auf ihren limnologischen Zustand untersucht (Limnex 2017). Im Zentrum stand neben den chemisch-physikalischen Messungen auch das Plankton, welches die Nahrungsgrundlage für viele Fische darstellt, sowie die Abschätzung des zu erwartenden Fischertrages anhand der limnologischen Daten.

Die Phosphor-Konzentrationen haben in allen Seen zwischen 1960 und 2016 deutlich abgenommen und sind heute wieder nahe an den natürlichen Verhältnissen. Durch die gesunkenen Phosphorwerte ist auch die Planktonbiomasse (beurteilt anhand der Chlorophyll-a-Konzentration) in den letzten 25 Jahren deutlich zurückgegangen. Die Sichttiefe in den Seen ist heute dementsprechend deutlich grösser.

In den Jahren 1965 bis 1992 konnte in allen 4 Seen des Oberengadins im Vergleich zum natürlichen Zustand eine z.T. deutlich erhöhte Nährstoffbelastung beobachtet werden. Der St. Moritzersee dürfte zwischen 1965 und 1970 wegen der hohen Nährstoffbelastung sogar eutroph gewesen sein. Der Champfèrersee zeigte 1991/92 eine mittlere Belastung (mesotroph), während der Silvaplanner- und Silsersee eine geringere Belastung aufwiesen und nur noch eine Tendenz zur Mesotrophie zeigten. Diese Belastungen haben sich bis heute in allen Seen klar verringert und der Zustand der Seen liegt wieder nahe am natürlichen Zustand. Alle Seen sind heute oligotroph, auch wenn im Tiefenwasser des St. Moritzer- und Champfèrersess noch Sauerstoffdefizite bestehen. In diesen beiden Seen sinken die Sauerstoff-Konzentrationen im Herbst unter 4 mg/l und können damit die gesetzlichen Anforderungen nicht erfüllen.

Die Zusammensetzung des Planktons weist in den Oberengadiner Seen auf keine gravierende Störung der Biozönose hin. Es handelt sich um vielfältige und ausgewogene Artengemeinschaften, ohne Massentfaltung einzelner Gruppen. Toxische Formen, welche die Fische beeinträchtigen können, kommen keine vor. Die Planktonbiomassen und somit die Futterbasis für Fische sind aber generell tief und dürften zudem seit den Neunzigerjahren wegen tieferen Phosphorwerten abgenommen haben. Trotz den eher geringen Biomassen ist im Sommerhalbjahr genügend Nahrung für planktivore Fische vorhanden. Der Winter stellt hingegen wegen der geringen Dichte an Planktontieren einen Engpass bei der Nahrungsgrundlage dar. Dies allein kann jedoch den beobachteten Rückgang der Fangerträge in den letzten Jahren nicht erklären.

Das theoretische Ertragsvermögen der Oberengadiner Seen wurde anhand von Literaturangaben abgeschätzt. Die verwendeten Berechnungsansätze basieren auf Korrelationen zwischen Phosphor- oder Chlorophyllkonzentration und Jahreshektarenertrag. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigen auf, dass die heutigen Fangerträge grundsätzlich den theoretischen Erwartungen an oligotrophe und kühle Seen entsprechen. Die deutlich höheren Erträge in früheren Jahren resp. Jahrzehnten können daher mit höheren Phosphatkonzentrationen zusammenhängen. So zeigen die Abschätzungen für die Jahre 1991-92 gegenüber heute schon erhöhte theoretische Fangerträge an. Die noch höheren Nährstoffkonzentrationen in den 1970er und 80er-Jahren können die Rekorderträge beispielsweise im Silsersee von bis zu 25 kg/ha erklären. Die rückläufigen Fangerträge decken sich somit mit den abnehmenden Phosphor- und Chlorophyllkonzentrationen in den letzten 25 Jahren.

2 Einleitung

In den Oberengadiner Seen wurde in den letzten Jahren ein starker Rückgang der Fischfangerträge verzeichnet, wobei insbesondere die Seesaiblingfänge erheblich abnahmen. Seither hat sich die Fangsituation auf tiefem Niveau stabilisiert (Abb. 1). Um die Ursachen für diesen Rückgang zu ermitteln, wurden die vier Oberengadiner Seen (Silser-, Silvaplanner, Champfèrer- und St. Moritzersee) von 2013-2016 auf ihren limnologischen Zustand untersucht. Dazu wurden chemisch-physikalische Parameter erhoben, anhand derer die Wasserqualität und der generelle Zustand der Seen beurteilt werden kann (z.B. Sauerstoffverhältnisse). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in einem separaten Bericht detailliert behandelt und sind im vorliegenden Bericht zusammenfassend aufgeführt (Limnex 2017, vgl. Kap. 4). Zusätzlich zu den chemisch-physikalischen Messungen wurde zwischen 2014-2016 das Phyto- und Zooplankton jeweils im Juni und Oktober beprobt. Damit stehen auch Informationen über das Nahrungsangebot für Fische - insbesondere für die Seesaiblinge - in den vier untersuchten Seen zur Verfügung.

Im vorliegenden Bericht wird anhand der Planktonproben und der chemisch-physikalischen Messungen die Nahrungsgrundlage in den Oberengadiner Seen beurteilt (Bottom-up-Analyse) und das theoretisch zu erwartende Ertragsvermögen mit Hilfe von Berechnungsverfahren aus der wissenschaftlichen Literatur abgeschätzt.

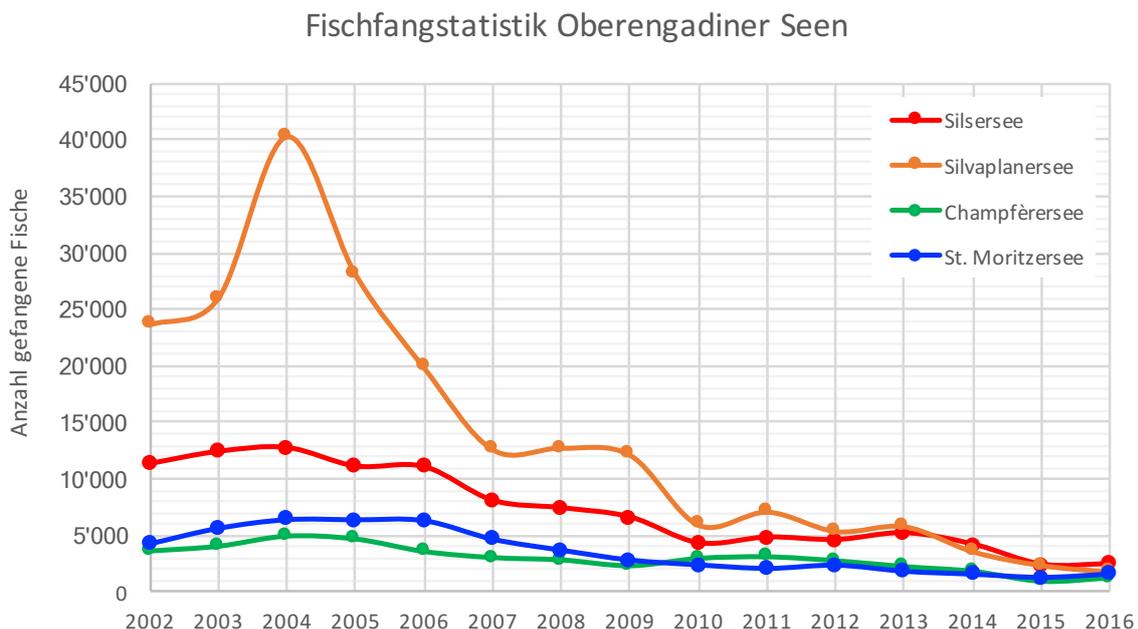


Abbildung 1 Anzahl gefangener Fische in den vier Oberengadiner Seen von 2002 bis 2016 (Quelle: kantonale Fischereistatistik).¹

¹ Heute werden in den 4 Oberengadiner Seen noch rund 11'000 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 (Silvaplanner- und Silsersee) ca. 15'000 Fische als Gebühr abliefern musste. Obwohl diese Angaben nicht verifizierbar sind, liegen Sie im oder etwas über den Erträgen der letzten Jahre.

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 2017)
- Fischfangstatistik des AJF von 2002-2016 (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*
- 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 Limnologischer Zustand der Oberengadiner Seen

Die Fischerträge der Oberengadiner Seen sind in den letzten Jahren deutlich um bis zu 60% zurückgegangen, weshalb die Seen zwischen 2014 und 2016 zum ersten Mal seit 1991/92 wieder auf ihren limnologischen resp. gewässerökologischen Zustand untersucht wurden. Nachfolgend wird der aktuelle Zustand dargestellt und dessen Entwicklung mithilfe von älteren Untersuchungsdaten seit 1946 diskutiert.

Zusammenfassend lässt sich der Zustand der vier Oberengadiner Seen (Silser-, Silvaplaner-, Champfèrer- und St. Moritzersee) wie folgt beschreiben:

- Die Sauerstoffverhältnisse im St. Moritzer- und Champfèrersee haben sich gegenüber den Jahren 1946–1991 deutlich verbessert. Die gesetzlichen Anforderungen von 4 mg/l O₂ können aber im Tiefenwasser noch nicht eingehalten werden, weshalb eine weitere Überwachung der Seen empfohlen wird.
- Im Silvaplaner- und Silsersee herrschen heute wie in der Vergangenheit durchwegs gute und gesetzeskonforme Sauerstoffverhältnisse. Im Silvaplanersee haben sich diese in den letzten Jahren noch verbessert, während sie sich im Silsersee im Rahmen der älteren Untersuchungen bewegen.
- Über die Sauerstoffzehrung (Mass für die organische Belastung) können noch keine gesicherten Aussagen gemacht werden, da noch zu wenige Vergleichsjahre vorliegen. Tendenziell hat diese aber im St. Moritzersee eher ab- und im Champfèrersee eher zugenommen. In den beiden übrigen Seen ist sie etwa gleichgeblieben.
- Durch das Phosphor-Verbot in Waschmitteln von 1986 und Optimierungen in der Siedlungsentwässerung sind die Phosphor-Konzentrationen in allen Seen zwischen 1960 und 2016 deutlich zurückgegangen. Heute dürften die Phosphor-Konzentrationen in den Seen bereits sehr nahe an den natürlichen Verhältnisse sein.
- Durch die tiefen Phosphor-Konzentrationen ist auch die Produktion von Pflanzenbiomasse zurückgegangen, was anhand der seit 1991/92 gesunkenen Chlorophyll-a-Werte erkennbar ist. Die Seen sind dementsprechend heute auch deutlich klarer als vor 25 Jahren. Die geringere Algendichte wirkt sich auch auf die Nahrungskette aus, indem das Nahrungsangebot für die Fische geschmälert wird.
- Im Gegensatz zum Phosphor sind die Stickstoff-Konzentrationen heute höher als vor 25 Jahren, da die Algenproduktion heute weniger Stickstoff verbraucht. Generell ist der Stickstoffgehalt in den Seen aber tief und es konnten keine toxischen Konzentrationen von Nitrit oder Ammoniak festgestellt werden.
- In den Jahren 1965 bis 1992 konnte in allen 4 Seen des Oberengadins im Vergleich zum natürlichen Zustand eine z.T. deutlich erhöhte Nährstoffbelastung beobachtet werden. Der St. Moritzersee dürfte zwischen 1965 und 1970 wegen der hohen Nährstoffbelastung sogar eutroph gewesen sein. Der Champfèrersee zeigte 1991/92 eine mittlere Belastung (mesotroph), während der Silvaplaner- und Silsersee eine geringere Nährstoffbelastung aufwiesen und nur noch eine Tendenz zur Mesotrophie zeigten. Diese Belastungen haben sich bis heute in allen Seen klar verringert und der Zustand der Seen liegt wieder nahe am natürlichen Zustand. Die Seen sind heute oligotroph.

Fazit Limnologie

Abgesehen von den Defiziten beim Sauerstoffgehalt im St. Moritzer- und Champfèrersee, zeigen sich heute alle vier Oberengadiner Seen in einem limnologisch resp. gewässerökologisch guten Zustand.

5 Plankton

5.1 Probenahmezeitpunkt und -methodik

Das Phyto- und Zooplankton wurde für den Bemessungszeitraum 2014-2016 jeweils zwei Mal jährlich beprobt (Frühjahr und Herbst)². In Tabelle 1 sind die Daten der sechs Probenahmekampagnen aufgelistet.

Tabelle 1 Probenahmekampagnen Phyto- und Zooplankton 2014-2016.

Jahr	Frühjahresprobe	Herbstprobe
2014	23. / 24.06.	14. / 15.10.
2015	09. / 10.06.	13. / 14.10.
2016	31.05 / 01.06.	11. / 12.10.

Die Probenahme des **Phytoplanktons** erfolgte mittels Schröder-Sampler von 0-20 m Tiefe. Die Proben wurden anschliessend mit Lugol fixiert. Das **Zooplankton** wurde mit quantitativen Zooplanktonnetzen (Zwillingsgarnitur mit je 1 dm² Eintrittsöffnung und 95 µm Maschenweite, System Bürgi) von 0-20 m bzw. 20 m bis über Grund (= 60 m im Silsersee und Silvaplansersee, 30 m im Champfèrersee und 35 m im St. Moritzersee) beprobt. Diese quantitativen Netzzüge wurden mit Formol fixiert. Die Auszählungen und Bestimmungen im Labor wurden vom ausgewiesenen Spezialisten Dr. H.R. Bürgi durchgeführt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse zum Phyto- und Zooplankton kurz erläutert. Detailliertere Informationen befinden sich in den separaten Berichten von HR. Bürgi im Anhang.

5.2 Phytoplankton

Die Zusammensetzung der Phytoplanktonbiozönose deutet insgesamt auf keine gravierenden Störungen hin. Eutraphente Arten wie beispielsweise Cyanobakterien, Euglenale und Grünalgen fehlen weitgehend. Die wichtigsten Gruppen im Phytoplankton sind die Chrysophyceen (Goldalgen), Diatomeen (Kieselalgen) sowie die Dinoflagellaten. Als gute Futteralgen spielen aber auch die Cryptomonaden eine wesentliche Rolle, da sie sehr schnell nachwachsen. Der Artenkatalog des Phytoplanktons ist langfristig stabil, innerhalb der Untersuchungsperiode sind keine wesentlichen Veränderungen zu erkennen. Die Oberengadiner Seen weisen eine hohe Artenvielfalt und eine ausgewogene Artenzusammensetzung ohne Massenentfaltung einzelner Gruppen auf. Toxische Arten, welche die Fischpopulation beeinträchtigen könnten, kommen keine vor.

Im zeitlichen Verlauf der Phytoplanktonbiomasse dominieren in allen Seen die Juni-Proben. Das Phytoplankton profitiert zu dieser Zeit noch von Nährstoffen aus der Frühjahres-Zirkulation und es hat wenig Konsumenten (Zooplankton), welche die Biomasse dezimieren können. Während in den Mittellandseen durch die intensive Weidetätigkeit der Cladoceren im Mai-Juni schon ein Klarwasserstadium auftritt, bei dem die Zwergplankter fast vollständig verschwinden, ist dieses Nanoplankton in den Engadinerseen im Juni auf dem Höhepunkt. Ein vergleichbares Klarwasserstadium ist erst im Oktober sichtbar (in Ermangelung weiterer Probenahmen im Sommer).

Heute ist die Biomasse der Produzenten in allen Seen tief. Da der Nährstoffgehalt in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen ist (Kap. 4), muss davon ausgegangen werden, dass die Biomassen in der Vergangenheit höher waren.

² Im Jahr 2015 wurden keine Phytoplanktonproben entnommen.

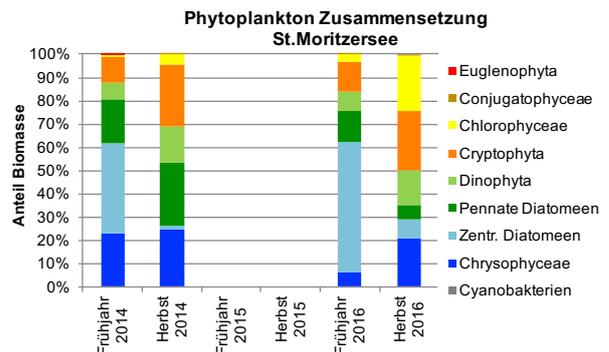
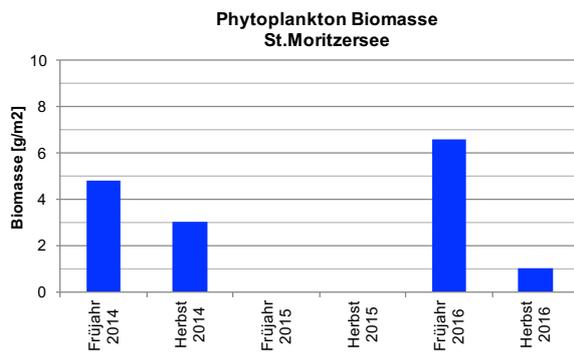
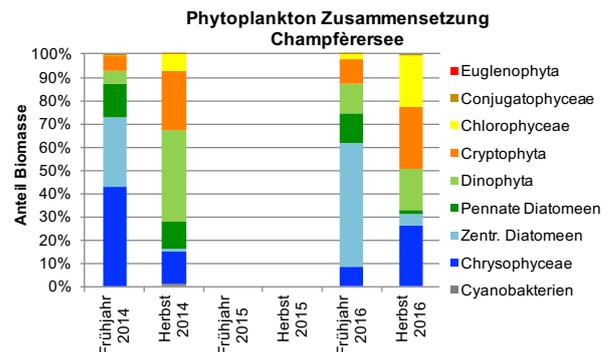
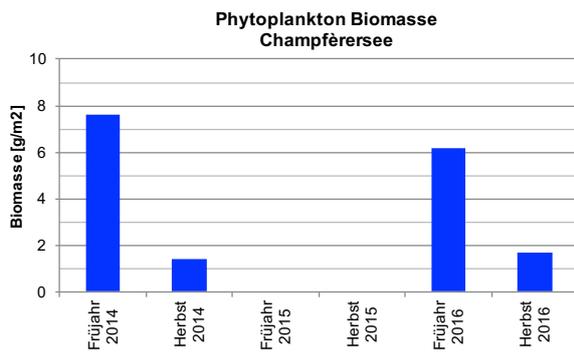
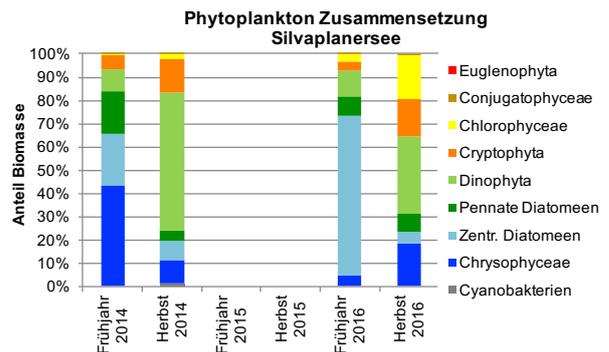
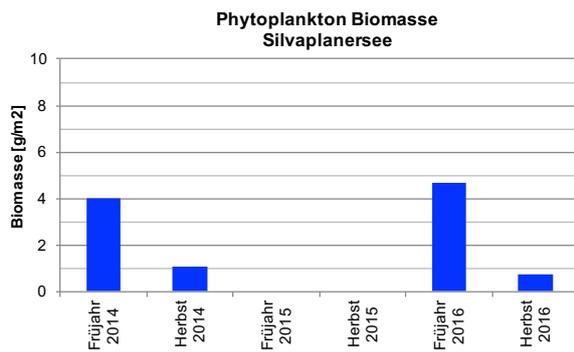
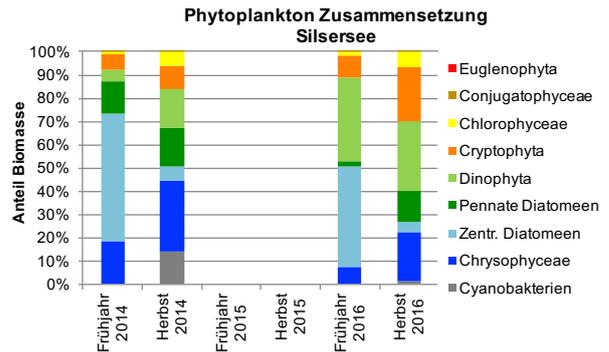
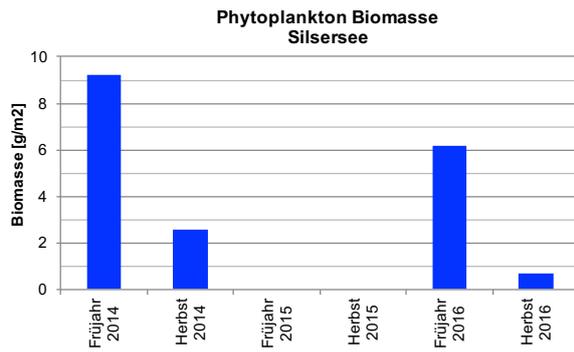


Abbildung 2 Biomasse und Zusammensetzung des Phytoplanktons in den vier Oberengadiner Seen für die Bemessungsperiode 2014-2016. Im Untersuchungsjahr 2015 wurde das Phytoplankton nicht beprobt.

5.3 Zooplankton

Das Zooplankton besteht im Wesentlichen aus drei Gruppen: 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 Ruderfusskrebse (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* und *Bosmina* zusammen, welche den Jungfischen als gute Nahrungsgrundlagen dienen, da sie nicht besonders agil sind. Räuberische Formen (typische Sommerformen) fehlen hier, was mit dem kurzen Sommer im Oberengadin erklärt werden könnte.

Im zeitlichen Verlauf dominieren die herbivoren Crustaceen vor allem im Herbst. Sie können das gute Nahrungsangebot im Juni gar nicht nutzen, weil sie dann noch nicht präsent sind. Die Mikrozooplankter (Rädertiere und Protozoen) können wegen ihrer einfacheren Organisation und der daraus resultierenden kurzen Generationszeit von wenigen Tagen schneller auf Veränderungen der Nahrungssituation reagieren. Sie dominieren deshalb in den Juniproben.

Für die Fischfauna sollte im beprobten Zeitraum (Mai-Oktober) grundsätzlich genügend Nahrung vorhanden sein, obwohl die Biomassen des Zooplanktons in allen Seen tief sind und in den vergangenen Jahrzehnten wegen der abnehmenden Phosphorbelastung wahrscheinlich gesunken sind (vgl. Kap. 4). Der Engpass dürfte hingegen der Winter darstellen. Unter der Eisdecke sind zwar noch Zooplanktontiere vorhanden, aber sehr verdünnt. Für Jungfische, welche sich vorwiegend von Plankton ernähren fehlt während dieser Zeit das Futter. Fischlarven hingegen verfügen nach dem Schlüpfen noch über Dottersackreserven und sind damit nur wenig von diesem Engpass betroffen³.

Die Aussagen bezüglich Zooplankton beruhen auf zwei Aufnahmen pro Jahr (Juni und Oktober). Da der Lebenszyklus der Tiere nur wenige Wochen beträgt, wäre es in Zukunft sinnvoll, das Zooplankton nicht mehr jährlich, dafür aber in kürzeren Zeitabständen (z.B. monatlich von Juni bis Oktober) zu beproben, um allfällig relevante Veränderungen der Futterbasis im Sommerhalbjahr erkennen zu können.

3 Der Beginn der exogenen Nahrungsaufnahme von Fischlarven wird anhand der Tagesgradiententwicklung 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).

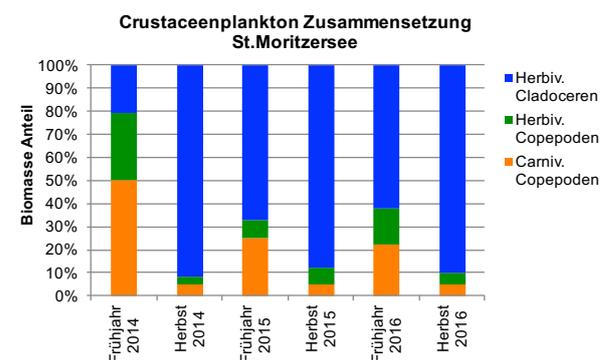
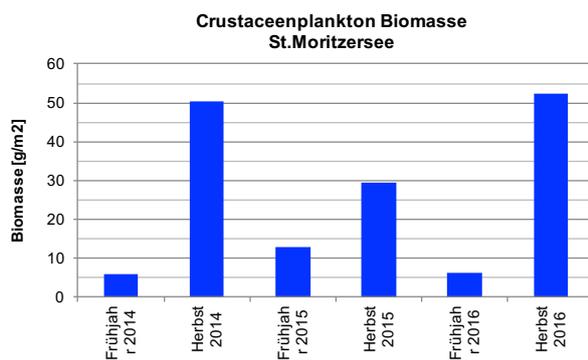
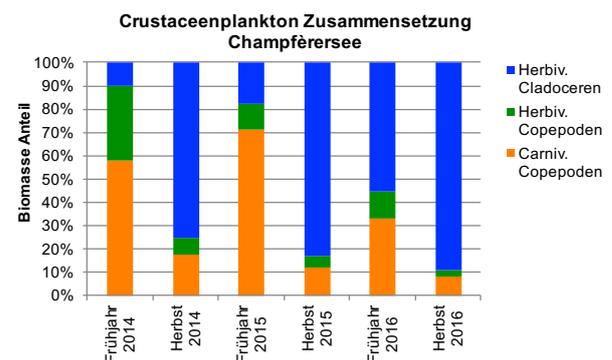
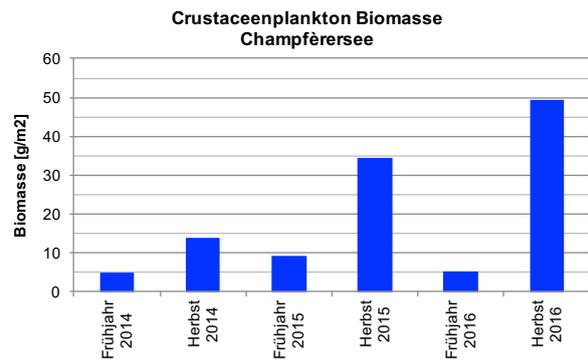
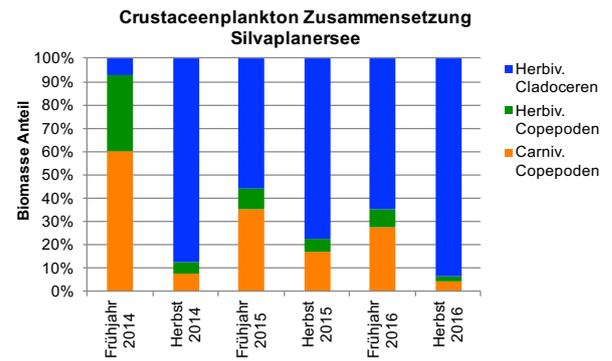
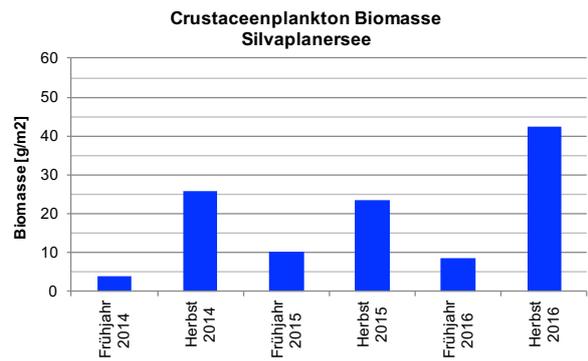
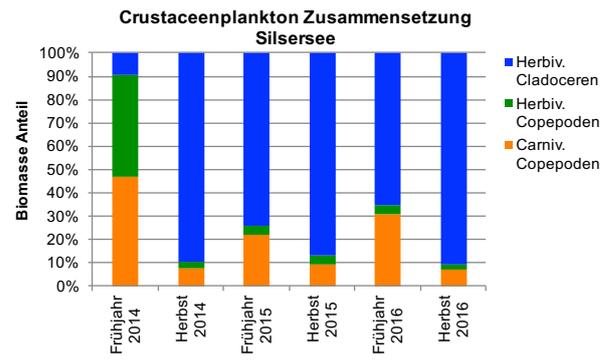
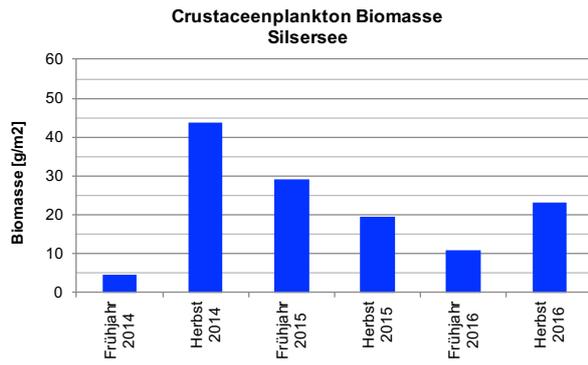


Abbildung 3 Biomasse und Zusammensetzung des Crustaceenplanktons in den vier Oberengadiner Seen für die Bemessungsperiode 2014-2016.

Fazit Plankton

- Die Zusammensetzung des Planktons weist auf keine gravierende Störung der Biozönose hin.
- Es kommen keine toxischen Phytoplanktonarten vor.
- Die dominierenden Algengruppen sind die Kieselalgen (Diatomeen), die Goldalgen (Chryso-phyceen), die Dinoflagellaten sowie die Cryptomonaden.
- Das Klarwasserstadium tritt in den vier Oberengadiner Seen erst im Herbst auf und nicht im Mai-Juni wie in den Mittellandseen.
- Beim Zooplankton sind die herbivoren Cladoceren, wie z.B. Daphnia oder Bosmina, als Nahrungsgrundlage für die Fische von grosser Bedeutung. Im zeitlichen Verlauf erreichen sie die höchste Biomasse in der Regel im Herbst.
- Im beprobten Zeitraum von Mai-Oktober sollte grundsätzlich genügend Nahrung für planktivore Fische vorhanden sein. Die Planktonbiomassen und somit die Futterbasis für Fische sind aber generell tief und dürften zudem seit den Neunzigerjahren wegen tieferen Phosphorwerten abgenommen haben.
- Einen Nahrungsengpass stellt vermutlich der Winter dar. Unter der Eisdecke sind nur geringe Dichten von Zooplanktern vorhanden.
- Wir empfehlen das Zooplankton in Zukunft in engeren Zeitabständen (z.B. monatlich von Juni bis Oktober) zu untersuchen. Dafür könnte auf eine jährliche Untersuchung verzichtet werden.

6 Fischereiliche Aspekte

6.1 Ansätze zur Berechnung des Fangertrages

Aus der wissenschaftlichen Literatur sind verschiedene Ansätze zur Berechnung des theoretischen Fangertrages bekannt. Dabei handelt es sich um empirische Modelle, welche anhand der Phosphor- oder Chlorophyllkonzentrationen die Fischbiomasse oder den Fangertrag in einem See abschätzen.

In der nachfolgenden Abschätzung werden verschiedene Ansätze zur Berechnung der gesamten Fischproduktion (standing crop) und des Fangertrags angewendet. Diese gehen aus Tabelle 2 hervor. Es gilt jedoch zu beachten, dass die verschiedenen Berechnungsmethoden auf Datensätzen aus unterschiedlichen Gewässern basieren (Seen aus Nordamerika, Westeuropa und teilweise aus der ehemaligen Sowjetunion). Die Verwendung dieser Berechnungsformeln in den hochgelegenen Oberengadiner Seen ist deshalb mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Eine weitere Unsicherheit ergibt sich daraus, dass der Begriff Fangertrag (*fish yield*) nicht immer scharf definiert ist und in der Literatur teilweise unterschiedlich verwendet wird (z.B. Gesamtfangertrag oder nur kommerziell genutzte Fische). Im vorliegenden Fall ist es nicht überall ersichtlich auf welchen Aspekt sich der Parameter Fangertrag bezieht. Zudem werden Fischereistatistiken neben ökologischen auch durch sozioökonomische Parameter beeinflusst, was die Herleitung eines Zusammenhanges mit limnologischen Parametern wie zum Beispiel Phosphor oder Chlorophyll zusätzlich erschwert.

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.fischerei-statistik.ch Phosphordatensatz: BAFU

Die gesamte Fischbiomasse (standing crop) in Abhängigkeit der Gesamt-Phosphorkonzentration ist in Abbildung 4 dargestellt. Abbildung 5 zeigt den berechneten Fischertrag (ausgedrückt als JHE) der Ansätze FY1 - FY3. Der Berechnungsansatz FY4 (nicht dargestellt) basiert auf der Annahme, dass etwa 30% der Nettoproduktion in einem See durch die Fischerei abgeschöpft werden können. Dieser Ansatz wurde in Untersuchungen am Brienersee zur Abschätzung des Jahreshektarertrages verwendet und wird hier als Ergänzung beigezogen (BVE 2006).

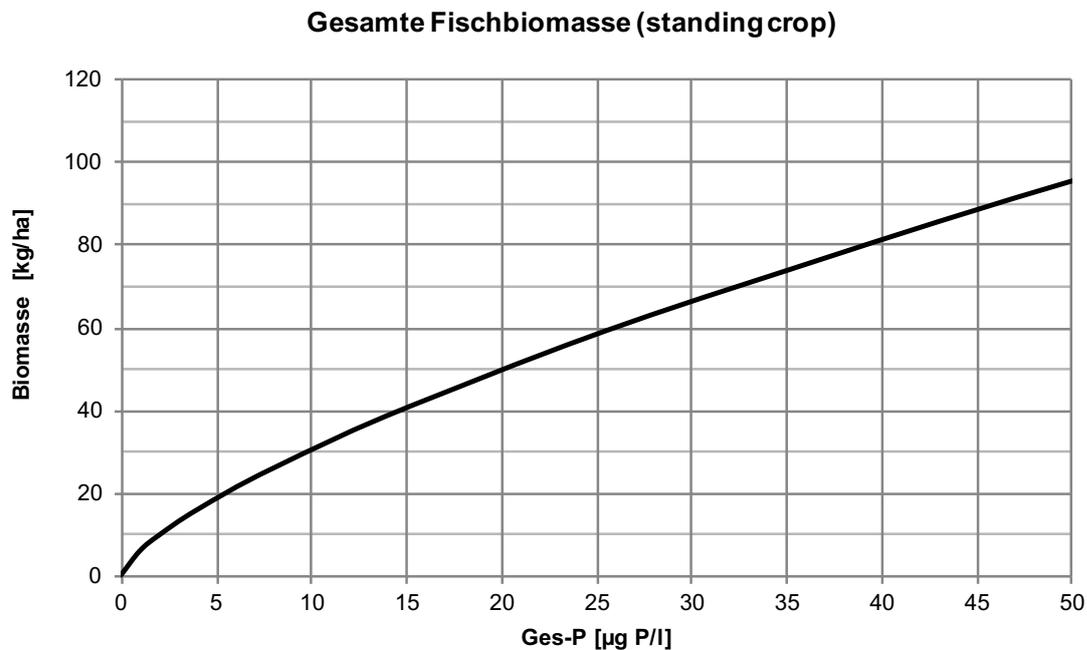


Abbildung 4 Gesamte Fischbiomasse (standing crop) in Abhängigkeit der Phosphorkonzentration, nach Peters (1986).

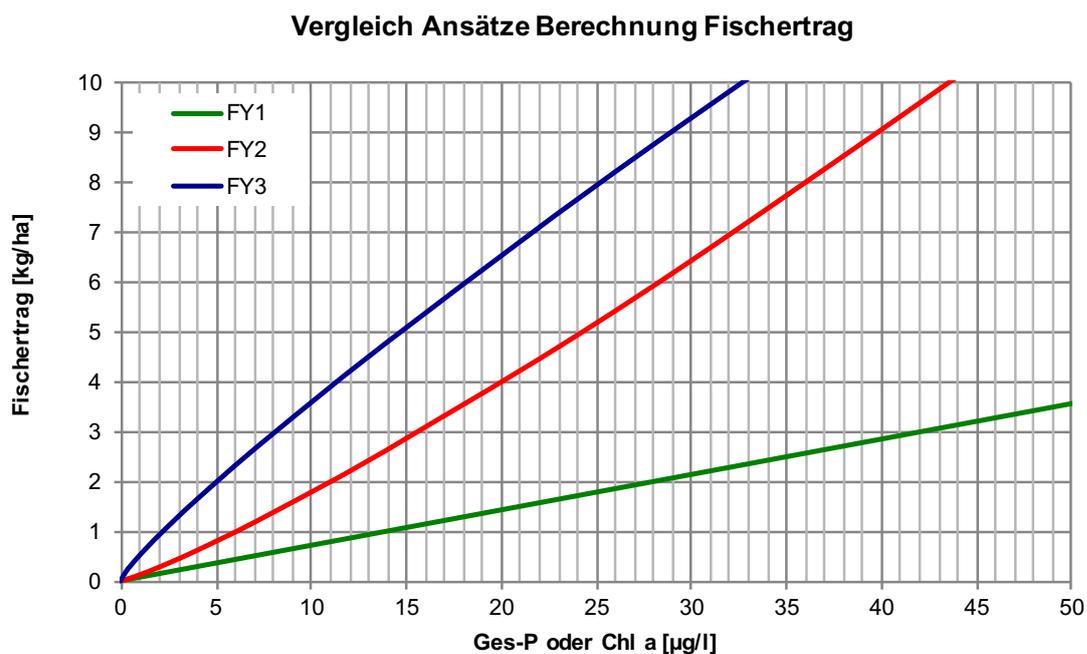


Abbildung 5 Fischertrag (Jahreshektarertrag in kg) in Abhängigkeit der Gesamt-Phosphorkonzentration resp. der Chlorophyllkonzentration (Jahresmittel) für die Ansätze FY1-FY3.

Der Berechnungsansatz FY5 basiert auf der in Abbildung 6 gezeigten Korrelation. Dabei handelt es sich um eigene Auswertungen von bestehenden Daten. Die Gesamtphosphordaten stammen aus einer Zusammenstellung von kantonalen Daten, welche vom BAFU (Sektion Wasserqualität) zur Verfügung gestellt wurde. Die Daten zu den Fangerträgen stammen aus der eidgenössischen Fischereistatistik und wurden mit Hilfe der Seeflächen in JHE umgerechnet (www.fischereistatistik.ch). Bei der vorliegenden Betrachtung wurden nur Seen mit Gesamtphosphorwerten < 50 µg P/l berücksichtigt.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, streuen die Daten erheblich, weshalb sich nur ein schwacher Zusammenhang herleiten lässt. Zudem muss auch hier berücksichtigt werden, dass es sich um Mittelland- und Voralpenseen handelt, welche höchstens auf einer Höhe von 570 m ü. M. liegen und somit auch deutlich andere Temperaturverhältnisse aufweisen.

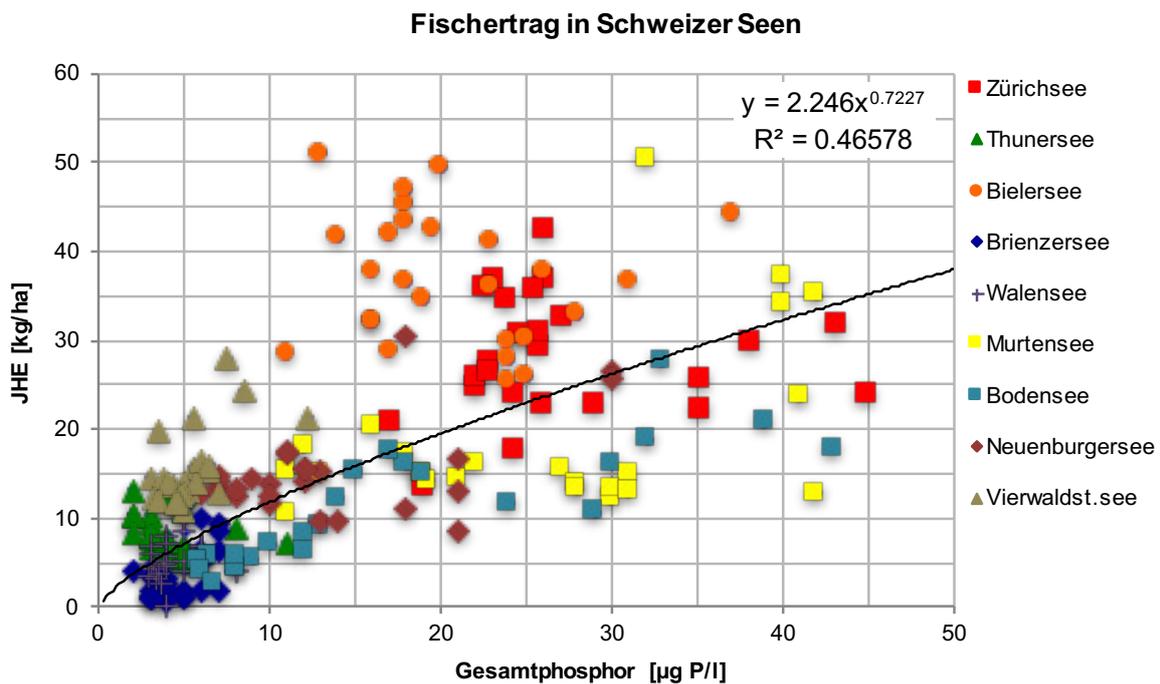


Abbildung 6 Korrelation zwischen Gesamtphosphor und Fangertrag. Die Phosphordaten stammen aus einer Zusammenstellung kantonalen Daten, die Fangerträge aus der eidgenössischen Fischereistatistik.

6.2 Auswertung der kantonalen Fischereistatistik

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 Längensklasse, Gewichtsangaben zu den gefangenen Fischen fehlen jedoch. Insgesamt stehen diese Daten für den Zeitraum von 2002 bis 2016 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 (vgl. Anhang Kap. 9.3). Die nur in Form von Klassen vorhandenen Fischlängen wurden mit Hilfe der Befischungsdaten aus dem „*Projet Lac*“ (Vonlanthen & Periat 2014) ergänzt, sodass für jede Längensklasse eine mittlere Fischlänge abgeschätzt werden konnte. So beträgt beispielsweise die mittlere Fischlänge für Seesaiblinge der Klasse „24-28cm“ rund 26.5 cm. 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 bekannt⁴. 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 Silvaplansersee enthält, mussten die Fangerträge für den St.Moritzersee mittels Analogieschluss geschätzt werden. Aufgrund der generell höheren Phosphorbelastung des St.Moritzersees wird der JHE dadurch möglicherweise unterschätzt. Die Datensätze sind in Abbildung 17 im Anhang (Kap. 9.3) dargestellt.

6.3 Theoretischer Fangertrag in den Oberengadiner Seen

Abbildung 7 zeigt die theoretisch zu erwartende Gesamtbiomasse (standing crop) in den vier Seen während die Abbildungen 8-11 den berechneten theoretischen Fangertrag pro See zeigen. Als Vergleich wurden auch die Fangerträge für die Jahre 1991 und 1992 berechnet, da für diese Periode ebenfalls limnologische Daten zur Verfügung stehen (Limnex 1994).

Die berechnete **Fischbiomasse** (standing crop) für die Periode 2014-2016 liegt im Bereich von 15 - 22 Kilogramm pro Hektar bei starker Streuung (Abb. 7). Der berechnete **Fangertrag** hängt massgeblich vom gewählten Ansatz ab. Die Ansätze FY1-FY3 ergeben für die Jahre 2014-2016 sehr niedrige Werte von ca. 0.5 kg/ha und unterschätzen den Fangertrag mit grosser Wahrscheinlichkeit. Demgegenüber liefern die Ansätze FY4 und FY5 für die Periode 2014-2016 deutlich grössere Fangerträge mit Werten im Bereich von 3 - 9 kg/ha. Im Vergleich zu den effektiven Fangerträgen liefern diese beiden Ansätze realistischere Werte.

Bezogen auf die Gesamtbiomasse (standing crop) beträgt der Anteil der Fangerträge für FY1-FY3 etwa 2%, FY4 30% und FY5 ca. 40%. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich ein Bereich mit dem theoretisch zu erwartenden Fangertrag aufzeigen. Dieser liegt für die Oberengadiner Seen zwischen **2 und 40% des standing crop**. Der Vergleich mit den effektiven Fangerträgen im Bemessungszeitraum 2014-16 zeigt, dass diese mit Ausnahme des Champfèrersees im erwarteten Bereich liegen.

Die Jahre 1991/1992 weisen aufgrund der generell höheren Phosphorkonzentrationen auch erhöhte theoretische Fangerträge auf. Die effektiven Fangerträge aus diesen Jahren liegen jedoch teilweise deutlich über dem erwarteten Bereich⁵.

4 Längenangaben oder Angaben zu den gefangenen Arten fehlen.

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

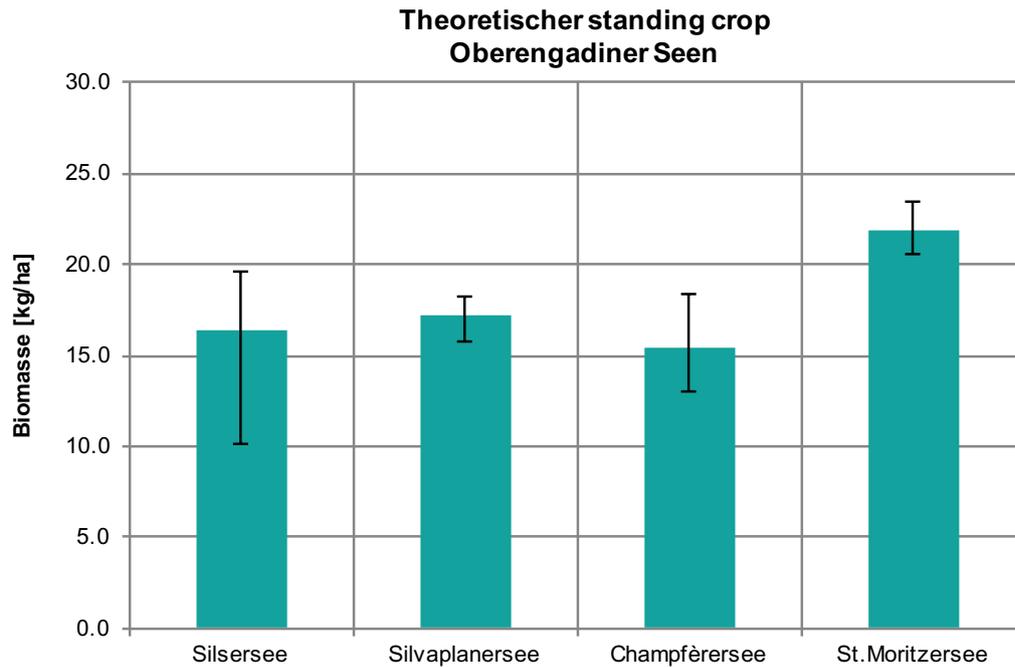


Abbildung 7 Mittlere Fischbiomasse (standing crop) in den vier Oberengadiner Seen berechnet nach dem Ansatz von Peter (1986). Die Fehlerbalken zeigen die Streuung innerhalb eines Sees (Minimum und Maximum). Die Werte basieren auf den Gesamt-Phosphorkonzentrationen der Jahre 2014-2016.

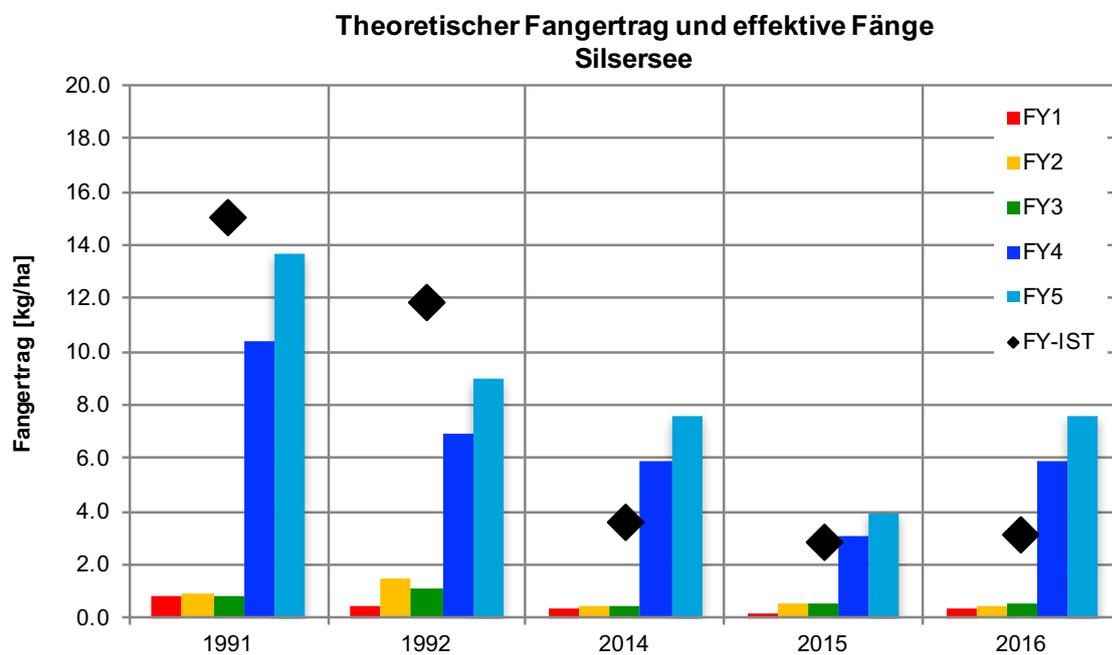


Abbildung 8 Theoretischer Fangertrag im Silsersee nach den Ansätzen FY1-5 (farbige Balken) für die Jahre 1991/1992 sowie 2014-2016. Die schwarzen Rauten zeigen den effektiven Fangertrag (FY-IST) im Bemessungszeitraum.

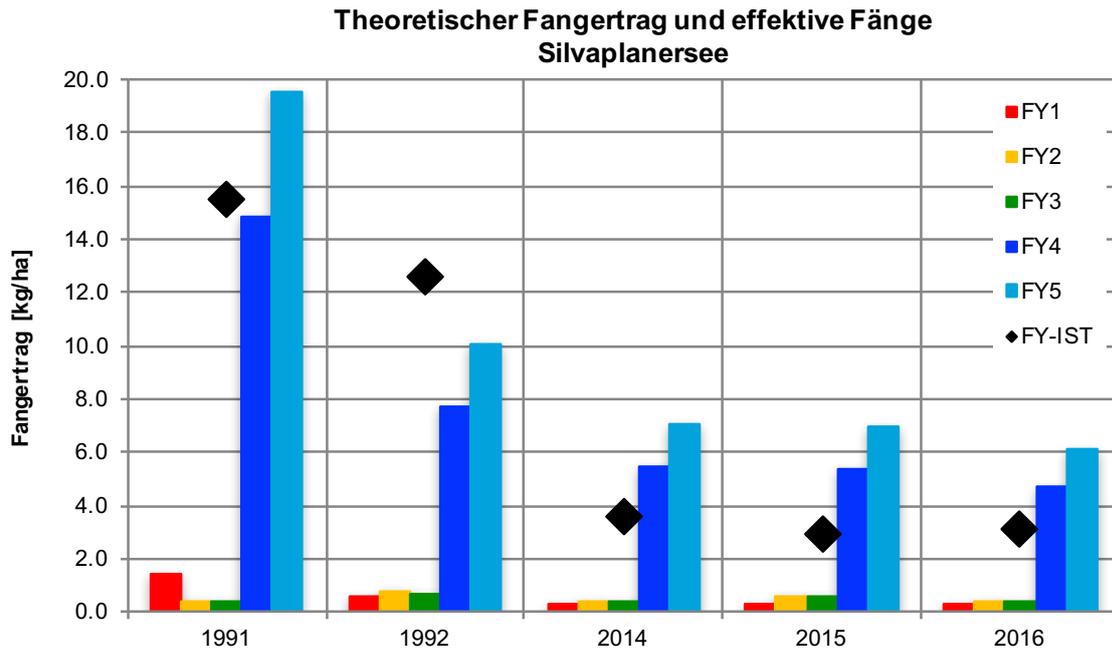


Abbildung 9 Theoretischer Fangertrag im Silvaplanersee nach den Ansätzen FY1-5 (farbige Balken) für die Jahre 1991/1992 sowie 2014-2016. Die schwarzen Rauten zeigen den effektiven Fangertrag (FY-IST) im Bemessungszeitraum.

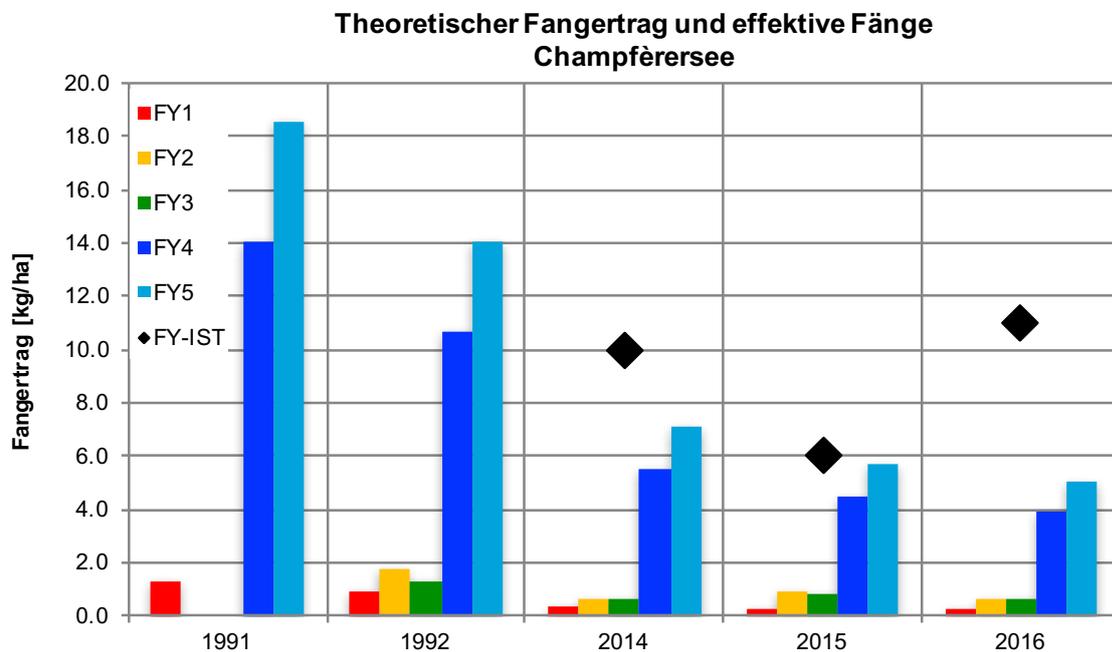


Abbildung 10 Theoretischer Fangertrag im Champfèrersee nach den Ansätzen FY1-5 (farbige Balken) für die Jahre 1991/1992 sowie 2014-2016. Die schwarzen Rauten zeigen den effektiven Fangertrag (FY-IST) im Bemessungszeitraum. Für das Jahr 1991/1992 fehlen Angaben zu den Fangerträgen. Ebenso fehlen Messungen zur Chlorophyllkonzentration im Jahr 1991, weshalb die Ansätze FY2 und FY3 nicht berechnet werden konnten.

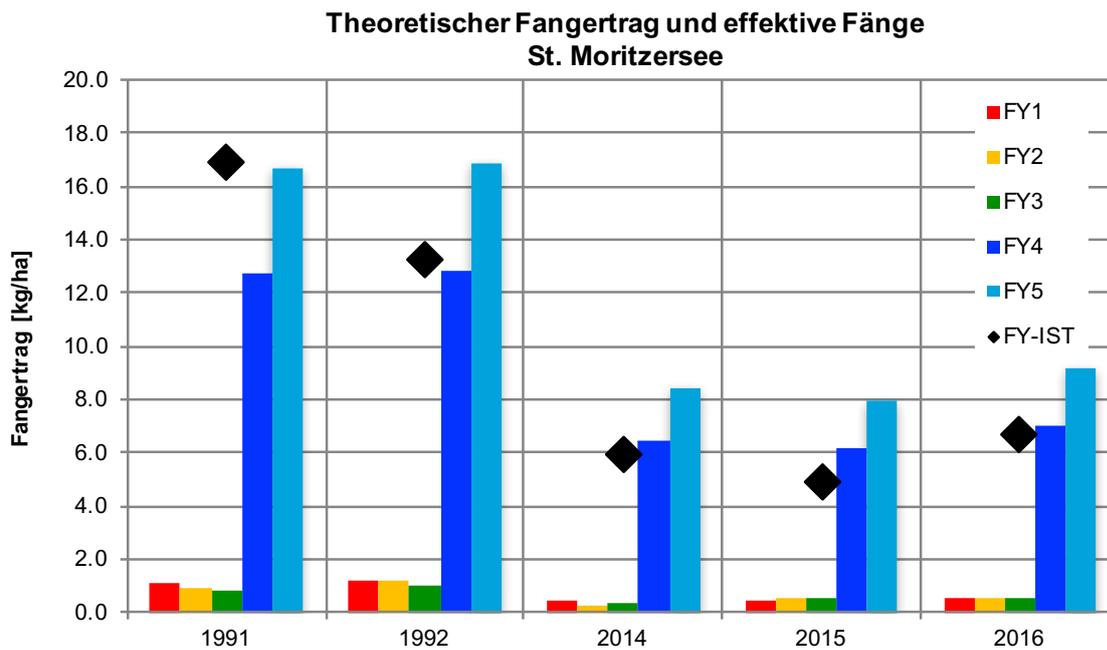


Abbildung 11 Theoretischer Fangertrag im St. Moritzersee nach den Ansätzen FY1-5 (farbige Balken) für die Jahre 1991/1992 sowie 2014-2016. Die schwarzen Rauten zeigen den effektiven Fangertrag (FY-IST) im Bemessungszeitraum.

Basierend auf den Berechnungen kann festgehalten werden, dass der **effektive Fangertrag** für die drei Bemessungsjahre 2014-2016 im Bereich zwischen 2 und 40% des standing crop liegt. Dies bedeutet, dass die beobachteten Fangerträge der letzten Jahre grösstenteils den Erwartungen an einen oligotrophen See entsprechen und nicht zu gering sind. 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 (Kap. 4) 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. Der Rückgang der Fangerträge ab 2005-2007 könnte eine verzögerte Reaktion des Fischbestandes auf den abnehmenden Phosphorgehalt sein. Dieses Phänomen ist beispielsweise aus Untersuchungen aus dem Vierwaldstättersee bekannt, wonach die Phytoplanktonbiomasse einem sinkenden P-Gehalt zeitlich hinterher hinkt (Bürgi 2011). Dementsprechend ist auch mit einer verzögerten Abnahme der Fischfangerträge zu rechnen. 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 Seesäblinge 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 Brienersee als Referenz beigezogen werden. Dieser liegt auf rund 560 m ü. M. und weist ein stark ausgeprägtes Trübungsregime auf, welches auch durch den Schwallbetrieb der Grimselkraftwerke geprägt ist. Der Brienersee ist ganzjährig gut mit Sauerstoff versorgt und im Vergleich zu anderen voralpinen Seen als eher kühl einzustufen. Nach BVE (2006) hat der Phosphatgehalt im Brienersee zwischen 1994 und 2002 von 3 auf weniger als 1 µg P/l abgenommen. Bei diesen Phosphat-Konzentrationen geht man künftig von einem Jahreshektarenertrag 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. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liefern deshalb wichtige neue Erkenntnisse zu den beobachteten Fangrückgängen.

Fazit: Fischereiliche Aspekte

- Die Berechnungen ergaben einen theoretischen Fangertrag im Bereich von 2 bis 40% des standing crop. Der jährliche Fangertrag liegt je nach See und gewähltem Ansatz zwischen 0.5 und 9 kg/ha.
- Der Vergleich mit den effektiven Fangerträgen von 2014-2016 zeigt, dass diese mehrheitlich im theoretisch erwarteten Bereich liegen.
- Im Brienersee - einem oligotrophen See mit ähnlich geringer Phosphat-Konzentration - werden Fangerträge in der selben Grössenordnung beobachtet.
- Die dargelegten Berechnungen und Analogieschlüsse deuten darauf hin, dass die beobachteten Fangertäge in den Oberengadiner Seen nicht generell als zu gering eingestuft werden können. Vielmehr entsprechen sie der Ertragsfähigkeit oligotropher und kühler Seen.
- Die rückläufigen Fangerträge bei den Fischen decken sich mit den abnehmenden Phosphor- und Chlorophyllkonzentrationen in allen Seen in den letzten 25 Jahren.
- Die Fangerträge können dabei zeitlich verzögert zum sinkenden Phosphorgehalt abnehmen.

7 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungsergebnisse zum Plankton weisen darauf hin, dass für planktivore Fische in den Oberrengadiner Seen im Sommerhalbjahr genügend Futter vorhanden ist. Der Winter stellt hingegen wegen der geringen Dichte an Planktontieren einen Engpass bei der Nahrungsgrundlage dar. Dies allein kann jedoch den beobachteten Rückgang der Fangerträge in den letzten Jahren nicht erklären. Die Berechnungen der theoretischen Fangerträge, basierend auf Literaturangaben, haben ergeben, dass die heute beobachteten Fangerträge grundsätzlich den Erwartungen für einen oligotrophen See entsprechen. Die deutlich höheren Erträge in früheren Jahren resp. Jahrzehnten können daher mit höheren Phosphatkonzentrationen zusammenhängen. So zeigen die Abschätzungen für die Jahre 1991-92 gegenüber heute schon erhöhte theoretische Fangerträge an. Die noch höheren Nährstoffkonzentrationen in den 1970er und 80er-Jahren können die Rekorderträge beispielsweise im Silsersee von bis zu 25 kg/ha erklären.

8 Literatur

- Bürgi, H.R. (2011): 50 Jahre Planktonentwicklung im Vierwaldstättersee von 1960 bis 2010. Bericht im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee, 120 S. mit Anhang.
- BVE - Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (2006): Brienersee: Ein Ökosystem unter der Lupe. Resultate des Forschungsprojekts zum Rückgang des Planktons und der Felchenerträge. 24S.
- Lamprecht, 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.
- Marrer, H. (1979): Bericht über die in den Jahren 1977 und 1978 in den Oberengadiner Talseen durchgeführten fischereibiologischen Untersuchungen (Kurzfassung). Bericht im Auftrag des Jagd- und Fischereiinspektorates 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.
- Shannon, C. E. (1948) A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 379–423 and 623–656.
- Vonlanthen, P., Périat, G. (2013): Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Brienersee. 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“.

9 Anhang

9.1 Berichte Plankton 2014-2016 (HR. Bürgi)

Planktonanalysen 2014 der vier Oberengadinerseen: Silsersee, Silvaplanersee, Champfèrersee und St. Moritzersee

Analysen und Bericht: Dr. HR. Bürgi,
Dienstleistung/Forschung
8610 Uster

Situation und Probenerhebung:

Die vier Oberengadinerseen sind gekoppelte Systeme, die durch den Inn verbunden sind. Da die Seen jeweils nur kurze Fließstrecken voneinander getrennt sind, ist es sehr wahrscheinlich, dass es zu einem gerichteten Artenaustausch kommt, d.h. die Arten des Silsersees sind auch im Silvaplanersee zu erwarten und jene auch im Champfèrersee, bzw. St. Moritzersee.

Die obenliegenden Seen (Silsersee und Silvaplanersee) weisen eine grössere Tiefe auf als die nachfolgenden Seen. Dies hat Auswirkungen auf die vertikale Migration von Zooplankton und auf die Rezirkulation der Nährstoffe. Die Nachlieferung von Pflanzennährstoffen basiert im Silsersee weitestgehend auf der Zufuhr via Bergbäche, die abgesehen von Alpweiden keine nennenswerten Nährstoffquellen erschliessen. Die Abwässer der touristisch genutzten Dörfer summieren sich entlang der Fließstrecke vom Silvaplanersee zum St. Moritzersee. Da die Kläranlagen-Sammelsysteme insbesondere im Winter der stossweisen Belastung nicht immer genügen dürften, ist mit einer geringen Eutrophierung zu rechnen, selbst, wenn die regionalen Kläranlagen unterhalb der Seenplatte liegen. Diese wirkt sich im Bergfrühling nach der Eisschmelze in einer kurzen Steigerung der Planktonproduktion aus. Den Algen stehen dann die gesamten Nährstoffe aus dem Winterhalbjahr aus dem gesamten Seevolumen (Zirkulation) zur Verfügung, denn die Abdeckung der Seen mit Eis und Schnee reduziert die Primärproduktion aufgrund des Lichtmangels erheblich, die Nährstoffe werden dadurch vom November bis April kaum gezehrt. Abwassertechnische Verbesserungen haben in den vergangenen 22 Jahren zu einer Entlastung an Phosphor geführt und auch die Sauerstoffkonzentration hat sich verbessert, allerdings ist im Champfèrersee und im St. Moritzersee Ende Stagnation immer noch ein Sauerstoffdefizit vorhanden, welches den Edelfischen Probleme machen kann (M. Lanfranchi, Amt für Natur und Umwelt 2014).

Die Firma Linnex beprobte die Engadinerseen 23/24. Juni 2014 und 14./15. Okt. 2014 mit Sammelproben 0-20m mittels Schroeder-Sampler für Phytoplankton-Zählungen (fixiert mit Lugol) und mit quantitativen Zooplanktonnetzen (Zwillingsgarnitur mit je 1 dm² Eintrittsöffnung und 95 Mikron Maschenweite System Bürgi) von 0-20m bzw. 20m bis über Grund (= 60m im Silsersee und Silvaplanersee, 30m im Champfèrersee und 35m im St. Moritzersee). Diese quantitativen Netzzüge wurden mit Formol fixiert.

Die Lugolproben wurden im Labor Bürgi nach Utermöhl in 50ml Verbundkammern sedimentiert und am umgekehrten Mikroskop gezählt. Die Zooplanktonproben wurden mit einer Stempelpipette anteilmässig in Zählchalen übertragen und unter dem Durchlicht-Binokularmikroskop gezählt. Die Individuendichten wurden sodann mittel EDV in Biomasse umgerechnet. Dazu wurden fixe Volumenwerte für jede Art verwendet und die spezifische Dichte mit 1.06 korrigiert. Mit einem EDV- Programm nach H. Bühner, das analog einem Literatursuchprogramm verschiedene Suchkriterien kombinieren kann (logische Verknüpfungen, UND ODER, NICHT etc.) wurden Auszüge nach systematischen Kriterien, Form, Grösse, Beweglichkeit, Stoffwechsel, Ueberlebensstrategie etc. erstellt. Sämtliche Proben wurden mikrofotografisch dokumentiert.

Diversitätsberechnungen und Berechnungen der Evenness folgen den Gleichungen nach Shannon, siehe unten.

Der Shannon-Index H' einer Population, die aus N Individuen in S unterschiedlichen Spezies besteht, von denen jeweils n_i zu einer Spezies gehören, ist

$$H' = - \sum_i p_i \cdot \ln p_i \quad \text{mit } p_i = \frac{n_i}{N}$$

Bei Algen mit grossen Unterschieden der einzelnen räumlichen Dimensionen ist die Berücksichtigung der Biomasse wichtig, denn tausende von kleinen Formen erreichen kaum die Biomasse eines einzigen Individuums einer grösseren Art. Bei der Berücksichtigung der Volumina wird p_i als Quotient von Biomassen der i -ten Art im Verhältnis zur Gesamtbiomasse gerechnet.

Der Evenness – Index zeigt die Relation von der tatsächlichen Diversität im Vergleich zur maximal möglichen Diversität, wenn von allen Arten exakt gleich viele Individuen vorhanden wären (H' max). Er zeigt somit gute Ausgewogenheit der Population, wenn er gegen 1.0 strebt.

$$J' = \frac{H'}{H'_{\max}}$$

Interpretation der Planktonzählungen

Die Biomasse sowohl der Produzenten wie der Konsumenten ist in allen Seen tief.

Die Zusammensetzung der Planktonbiozönose weist auf keine gravierenden Störungen der limnischen Systeme hin. Eutraphente Arten (Cyanobakterien, Euglenale und Grünalgen) fehlen weitgehend. Die wichtigste Phytoplanktongruppe bilden die Diatomeen, gefolgt von Chrysoflagellaten, Dinoflagellaten und Cryptomonaden. Bei den Diatomeen findet man zahlreiche Tychoplankter. Dies sind nicht typische Planktonorganismen sondern sessile Formen, die eingeschwemmt aus Zuflüssen oder Uferregionen zeitweise im Pelagial weiterleben, und dort auch als Nahrung dienen.

Beim Zooplankton kann die Bestimmung nicht in allen Fällen bis zur Art gehen, weil z.B. bei *Bosmina* die Männchen nicht beobachtet wurden. Abweichend vom Mittelland kommt in den Engadinerseen kein *Eudiaptomus* sondern *Acanthodiptomus denticornis* vor. Bei den Daphnien dürfte es sich um *D. rosea* und bei den Bosminen um *Eubosmina longispina* handeln. Vereinzelt wurden Chydoriden (*C. Piger*) und Schildkrötenkrebse *Graptoleberis testudinaria* gefunden.

Im zeitlichen Verlauf des Phytoplanktons dominieren in allen Seen die Juni-Proben. Das Phytoplankton profitiert zu dieser Zeit noch von Nährstoffen aus der Frühjahres -Zirkulation und es hat wenig Konsumenten, welche die Biomasse dezimieren können. Beim Zooplankton ist genau die gegenteilige Entwicklung zu sehen. Die Tiere haben eine viel längere Generationszeit und ihre Entwicklungsgeschwindigkeit ist auch stärker von der Wassertemperatur abhängig, als bei den Algen, wo das Licht die entscheidende Rolle spielt.

Die herbivoren Crustaceen dominieren im Herbst. Sie können das gute Nahrungsangebot im Juni gar nicht nutzen, weil sie dann noch nicht präsent sind. Im St. Moritzersee erreichen die Herbivoren im Herbst eine Biomasse von 96 g/m² Nassgewicht. Damit sind sie in der Lage das Phytoplankton zu kontrollieren. Die Summe der besonders begehrten Zwergplankter (Nannoplankton) sinkt gegenüber den Juniwerten um 60%. Die Aktivität des Crustaceenplanktons konkurrenziert auch das Mikrozooplankton. Die einfachere Organisation und die viel geringeren Dimensionen der Protozoen und Rotatorien erlaubt es diesen, schnell auf eine Veränderung der Nahrungssituation anzusprechen. Die Generationszeit beträgt hier nur Tage, während die Crustaceen je nach Temperatur Monate zum Aufbau einer neuen Generation brauchen. Die kleinen Zooplankter sind damit im Juni mit höheren Biomassen vertreten, während sie im Herbst unter der Konkurrenz der viel effizienter filtrierenden Kleinkrebse leiden. Auch eine direkte Bedrohung der Mikrozooplanktonarten durch carnivore Copepoden ist im Herbst durchaus von Bedeutung, denn die Jungtiere der Cyclopsarten brauchen kleine Futterpartikel, welche sie mit ihren greifenden Mundwerkzeugen bearbeiten können. Die Algen sind dazu eher zu klein, andere Kleinkrebse zu gross.

Diversitätsbetrachtungen müssen wenn möglich auf gleicher Technik und vergleichbaren Artengruppen basieren. Es bringt wenig, wenn bei der Betrachtung einer Wiese das weidende Vieh in die gleiche Auswertung wie die Grassorten einbezogen wird, denn es ist klar, dass eine zusätzliche Grassorte kaum die gleiche Wirkung hat wie die Weider. In unserem Fall betrachten wir die Diversitäten von Algen Mikrozooplankton und Crustaceen separat. Mit der Berücksichtigung der Biomassenanteile erhält man ausserdem eine gewichtete Diversitätsberechnung (über Volumen).

Dank der relativ grossen Artenvielfalt beim Phytoplankton (meist zwischen 30 und 40 Arten) errechnet sich ein maximal möglicher Diversitätsindex von 5.3 Beim Crustaceenplankton hingegen sind selten mehr als 10 Arten vorhanden, die dank Aufspaltung auf Jugendstadien dann aber noch auf maximale Diversitäten von 4.1 kommen. Auch die Mikrozooplankter erreichen mitunter diesen Wert. Die relativ gute Ausgewogenheit unter den Zooplanktonarten weist auf spezifische Nahrungsbeziehungen hin. Eine krasse Dominanz einer Art oder eines Stadiums liegt meist aufgrund des begrenzten spezifischen Nahrungsangebotes nicht im Bereich des Möglichen. Die Evenness-Indices liegen bei den Crustaceen oft bei über 0.8, was der theoretisch vollkommenen Ausgewogenheit sehr nahe kommt. Beim Phytoplankton sind hingegen geringere Evenness-Indices vorhanden, weil aber gleichzeitig mehr Sorten vorhanden sind, liegt der Diversitätsindex dann auf etwa ähnlicher Höhe.

Vergleichend lässt sich feststellen, dass alle der untersuchten Seen vielseitig zusammengesetzt sind und selten dominante Arten aufweisen. Auch für die Fischfauna sollte das Nahrungsangebot an Kleinkrebsen durchaus ausreichen. Die Gelbfärbung der Copepoden lässt zudem auf grössere Fettanreicherungen (mit eingelagerten Karotinoiden) schliessen, die für die weitere Nahrungskette von Vorteil ist.

Analysen 2015 des Crustaceen-Planktons der vier Oberengadinerseen :Silsersee, Silvaplanersee, Champfèrersee und St. Moritzersee

Analysen und Berichterstattung: Dr. HR. Bürgi, Limnologe
Dienstleistung /Forschung
9610 Uster

Situation und Probenerhebung:

Gegenüber der Situation im Jahr 2014 hat sich nicht viel verändert (siehe Bericht HR. Bürgi vom 28.11. 2014). Es wurden an den gleichen Stellen zu vergleichbaren Jahreszeiten je 2 Tiefenstufen mit dem quantitativen Zwillingsnetz mit 95 Mikron Maschenweite erhoben. Auf die Phytoplankton- und Mikrozooplanktonproben wurde verzichtet. Gemäss den Erfahrungen von 2014 wurden gleich zu Beginn alle Netzzüge doppelt erhoben, um die statistische Zählgenauigkeit zu verbessern. Die Zählung und Fotodokumentation erfolgte nach den gleichen Grundsätzen wie 2014. Die Artenzusammensetzung der Crustaceen hat sich nicht verändert. Insbesondere fehlen Raubcladoceren nach wie vor, obwohl diese als Sommerformen von den vorhandenen Futterorganismen (die übrigen Crustaceen) durchaus leben könnten. Vermutlich wurden sie nie in genügender Menge als Inokulum in den See eingebracht. Da die carnivoren Kleinkrebse die Nahrungskette zu den Fischen verlängern, würde sich eine Veränderung der Nahrungspyramide in veränderten Fischerträgen manifestieren, zumal die Fische zumindest einzelne Raubkrebse als Futter schätzen.

Tabelle 1 Biomassen der Crustaceen in g/m2 Seeoberfläche

Biomassen	Herbivorous cladocerans	Herbivorous copepods	Carnivorous cladocerans	Carnivorous copepods
St.Moritz				
23.06.2014	1.230	1.735	0.000	3.012
14.10.2014	46.021	1.813	0.000	2.424
10.06.2015	8.538	1.055	0.000	3.166
14.10.2015	25.998	2.065	0.000	1.509
Champfer				
24.06.2014	0.476	1.591	0.000	2.830
15.10.2014	10.436	0.985	0.000	2.437
09.06.2015	1.634	1.032	0.000	6.566
13.10.2015	28.501	1.638	0.000	4.196
Silvaplana				
24.06.2014	0.276	1.262	0.000	2.299
15.10.2014	22.523	1.264	0.000	1.945
10.06.2015	5.803	0.902	0.000	3.638
13.10.2015	18.074	1.315	0.000	3.963
Silsersee				
23.06.2014	0.426	1.974	0.000	2.109
14.10.2014	39.205	1.238	0.000	3.218
10.06.2015	21.619	1.067	0.000	6.416
14.10.2015	16.832	0.771	0.000	1.751

Die Tendenz der Crustaceen-Entwicklung vom Juni zum Oktober ist in allen Seen ausser dem Silsersee vergleichbar mit den Vorjahreswerten: Die Biomasse der Cladoceren (Daphnien und Bosminen) nimmt markant zu, während die Copepoden in etwa die gleiche Biomasse halten oder sogar etwas zurückgehen.

Der Silsersee weist am 10. Juni 2015 fast 100x mehr Daphnien und Bosminen auf, als vor einem Jahr und erreicht eine Biomasse, welche diejenige der andern Seen mehrfach übersteigt und sogar teilweise grösser ist als in den Herbstproben. Die Zählung der Embryonen in Daphnien weist ausserdem daraufhin, dass die zeitliche Entwicklung exponentiell weiter gehen würde, denn die eiertragenden Weibchen hatten durchschnittlich 6 Embryonen im Brutraum, während im Herbst nur noch rund zwei Eier im Brutraum waren. Das schöne Wetter im 2015 dürfte einerseits die Entwicklung der Algen und die Transformation der Nahrung in der Nahrungskette beschleunigt haben. Da heftige Niederschläge seltener waren, kann davon ausgegangen werden, dass der Eintrag neuer Nährstoffe geringer war als 2014. Die Kombination von geringerer Zufuhr und erhöhter Zehrung erklärt die geringeren Biomassenwerte im Herbst 2015. Je nach See sind diese bis zu 50% tiefer als vor einem Jahr (Ausnahme Champferersee). Da die entsprechenden Phyto-Daten nicht vorliegen, basiert diese Interpretation auf der Fertilität der Cladoceren.

Veränderungen der Diversität und Ausgewogenheit

Die Parallelen der Diversitätsberechnungen 2014 und 2015 sind augenfällig. Die numerisch basierte Diversität ist immer im Herbst erhöht; da aber einige grosse Organismen (z.B. Adulte Daphnien) viel zur Biomasse beitragen, wird der Biomasse-basierte Wert genau dann geringer.

Tabelle 2 Diversitätsindices und Ausgewogenheit der Engadinerseen (Nur die 0-20m Stufen berücksichtigt)

SEE/Datum	Div. Hb Crust 20	Div. Hn 0- Crust 20	Evenness 0-Eb Crust	Evenness En Crust
St.Moritz				
23.06.2014	3.487	2.093	0.853	0.509
14.10.2014	1.940	3.353	0.475	0.819
10.06.2015	2.803	2.530	0.686	0.603
14.10.2015	2.184	3.456	0.514	0.812
Champfer				
24.06.2014	3.180	2.405	0.859	0.647
15.10.2014	2.144	3.241	0.563	0.850
09.06.2015	2.757	2.300	0.706	0.571
13.10.2015	2.228	3.036	0.602	0.820
Silvaplana				
24.06.2014	2.963	2.229	0.778	0.583
15.10.2014	1.417	3.011	0.354	0.751
10.06.2015	3.144	2.579	0.850	0.695
13.10.2015	2.532	3.103	0.633	0.774
Silsersee				
23.06.2014	3.044	2.230	0.822	0.601
14.10.2014	1.472	3.066	0.368	0.765
10.06.2015	2.665	2.808	0.666	0.701
14.10.2015	2.398	3.047	0.600	0.760

Dies kommt auch in den entsprechenden Indices der Ausgewogenheit zum Tragen. Die Evenness-Indices sind in diesen Seen für Planktonverhältnisse sehr hoch. Die Evenness der Biomasse im Juni und die numerisch berechnete Evenness im Herbst zeigen mit Werten von >0.8 eine sehr ausgewogene Gesellschaft. Der Wert 1.0 würde bedeuten, dass von allen Populationen exakt gleich viele Individuen in der Probe sind, bzw. dass die Biomassen der einzelnen Populationen identisch sind. Da der Diversitätsindex ausser der Ausgewogenheit auch von der Artenvielfalt abhängt, steigt der Diversitätsindex nicht über 3.5 an. Hoch diverse Biozönosen mit sehr viel mehr Arten können Werte über 5.0 erreichen. Die rund 17 verschiedenen Kategorien der Crustaceen im Engadin reichen dazu nicht aus. Mit etwas grösseren Stichproben, könnten die Diversitätsindices etwas erhöht werden, weil dann auch seltenere Kleinkrebse (z.B. Bodenformen oder Uferformen) erwischt werden, die den Index steigern. Allerdings wäre dann die Ausgewogenheit eher tiefer, weil die seltenen Arten auch nur mit einzelnen Funden vertreten wären.

Die Index-Berechnungen der Tiefenproben zeigen viel geringere Werte, weil dort Zufälligkeiten der Besiedelung eine Rolle spielen. Die meisten Kleinkrebse sind herbivor, leben also von Algen und um diese zu füttern, müssen sie in die Oberflächenzone aufsteigen. In der Tiefe leben neben den räuberischen Copepoden nur wenige Herbivoren, die möglicherweise absinken, weil sie nicht mehr genug Lebensenergie besitzen oder die tiefen Temperaturen aufsuchen, damit sie mit dem gefressenen Nahrungspaket länger existieren können. Mit bloss 5-10 Zählkategorien in den Tiefenproben werden Diversitäts-Indices um 1.5 bis 2.5 erreicht. Die höchste Diversität der Tiefenstufe unter 20m erreicht der St. Moritzersee, dort sind auch bis zu 19 Zählkategorien in 20-35m Tiefe vorhanden. Rein rechnerisch werden die Zählkategorien wie einzelne Populationen gewertet, auch wenn es sich um Altersstadien der gleichen Art handelt: z.B. Nauplien, Copepoditen und adulte Tiere mit und ohne Eier. Die Unterschiede der Tiefenstufen zwischen den Seen sind nicht in jedem Fall schlüssig interpretierbar, denn, wenn man davon ausgeht, dass die meisten Tiere der Tiefenprobe knapp unterhalb 20m leben und darunter der See fast leer ist, bewirkt die unterschiedliche Länge der Netzzüge eine systematische Verfälschung der Individuendichte. In der Stufe 20-30m (Champfèrersee) wäre bei gleicher Anzahl Tiere unter dem Quadratmeter die Dichte 4 mal höher als im Silsersee (20-60m Stufe). Die Verteilung der Tiere innerhalb der Tiefenstufen ist aber nicht bekannt, so dass exakte Dichte-Berechnungen nicht möglich sind.

Die Schlussfolgerungen für die Engadinerseen im Bericht 2014 sind auch unter etwas extremeren klimatischen Bedingungen im 2015 gültig: Die Seen sind nicht strikt oligotroph, da sie anhand der Planktonbiomasse über eine genügende Nährstoffnachlieferung verfügen müssen. Wegen den ungünstigen Produktionsbedingungen im langen Winter (tiefe Temperatur und fast kein Licht unter Eis und Schnee) bleiben die Nährstoff-Reserven für die kurze Produktionsphase im Sommer erhalten. Infolge Sauerstoffarmut dürften sich bis in den Frühsommer Nährstoffe aus dem Sediment rüchlösen und damit die Startphase des Phytoplanktons optimieren. In der Periode mit genug Licht kann das Plankton für kurze Zeit von den gespeicherten Nährstoffen ohne strenge Limitierung leben. Im Herbst stellen sich die Crustaceen aufgrund von ungünstigeren Faktoren (weniger Nahrung, tiefere Temperaturen) auf die Ueberlebensphase im Winter ein. Sie produzieren weniger Nachkommen und Dauerstadien, um den Bedarf an Nahrung gering zu halten. Obwohl die Dauerstadien der Cladoceren in den Planktonfängen vom Oktober noch nicht vorhanden waren, ist anzunehmen, dass sie sich danach gebildet haben, denn es wurden Männchen gefunden, welche für die Bildung von Dauerstadien (nur befruchtete Eier, keine Subitaneier überleben) nötig sind. In Tieflandseen können mit den gleichen Nährstoffreserven, wie sie in den Engadinerseen vorhanden sind, etwa gleich viel Biomasse produziert werden, aber die Zehrung erstreckt sich dann über eine längere Periode. Die Biomasse wird so auch früher durch grazing kontrolliert (Klarwasserstadien im Mai/Juni). Weil im Engadin die kurzzeitigen Maxima der Algen und Crustaceen im Sommer/Herbst fast zusammenfallen entsteht der Eindruck einer eutrophierteren Umgebung.

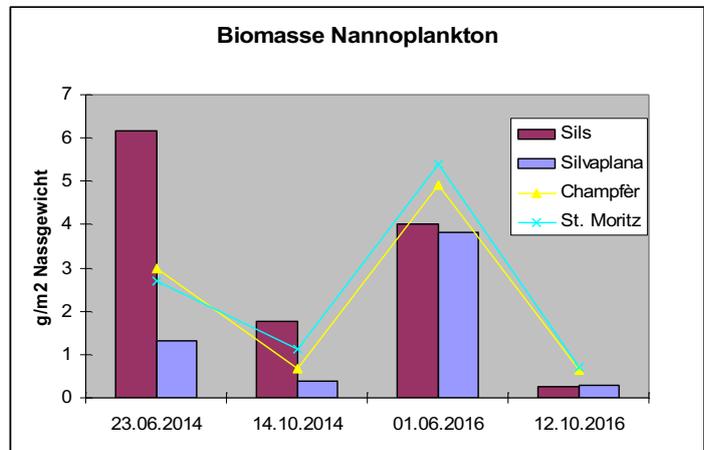
HR. Bürgi

Plankton-Analyse der Oberengadinersee: Silsersee, Silvaplanersee, Champfèrersee und St.Moritzersee 2016

**Analysen und Berichterstattung:
Dr. HR. Bürgi, Limnologische
Dienstleistung/Forschung Uster**

Einleitung:

Der Fokus der Plankton -Analysen lag wie in den vergangenen Jahren auf der Entwicklung des Zooplanktons als Bindeglied in der Nahrungskette zwischen Primärproduzenten (Algen) und Fischen. Die Probenahmen erfolgten zu vergleichbaren Jahreszeiten (Mai/Juni und Oktober) wie 2015 und 2014. Die Probenerhebung mit dem Kippnetz mit 95 Mikron Maschenweite erlaubte eine quantitativ einwandfreie Stufenbeprobung 0-20m und 20m-Grund. Phytoplankton und Mikrozooplankton wurden mit summierenden Wassers schöpfern erhoben und auf See mit Lugol fixiert. Bei der Analyse zeigte sich dann allerdings, dass die Lugolproben vom Oktober eine massive Trübung aufwiesen, die das Zählen der Planktonalgen sehr erschwerten und zum Teil verunmöglichten. Insbesondere die zarten Nannoplankter wurden durch die Trübung maskiert. Die etwas grösseren Netzplankter konnten mit einigem Aufwand noch erkannt werden. Da zur Zeit der Probenahme auch Trübstoffe im See ersichtlich waren, muss davon ausgegangen werden, dass die feinen Fremdpartikel von diesem Eintrag stammen. Die Art der Trübung liess aber nicht auf mineralische Komponenten schliessen, sondern auf organische Partikel. Die Trübung liess sich auch nicht auflösen durch Säurezugabe.



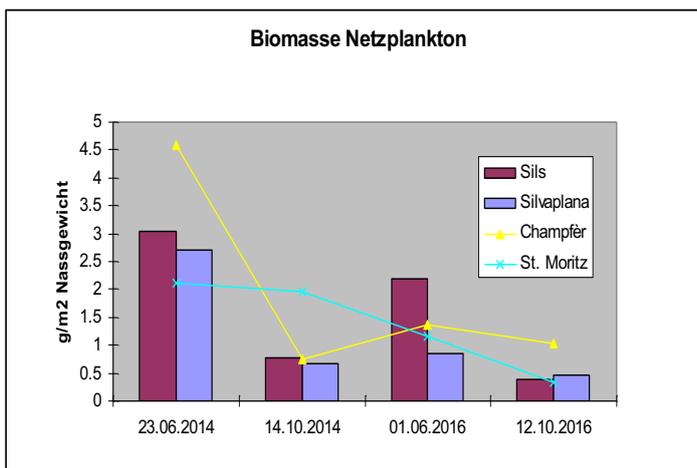
Biomassenentwicklung des Phytoplanktons

Der Vergleich der Grössenklassen Nannoplankton und Netzplankton zeigte gegenüber 2014 kleine Unterschiede, aber dennoch etwa eine gleiche Grössenordnung. Die 2016- Analysen müssen als Minimalwerte betrachtet werden, die statistische Abweichung dürfte nur nach oben gehen. Die Unterschiede innerhalb des Jahres sind 2016 deutlich grösser als die Unterschiede zwischen den Seen.

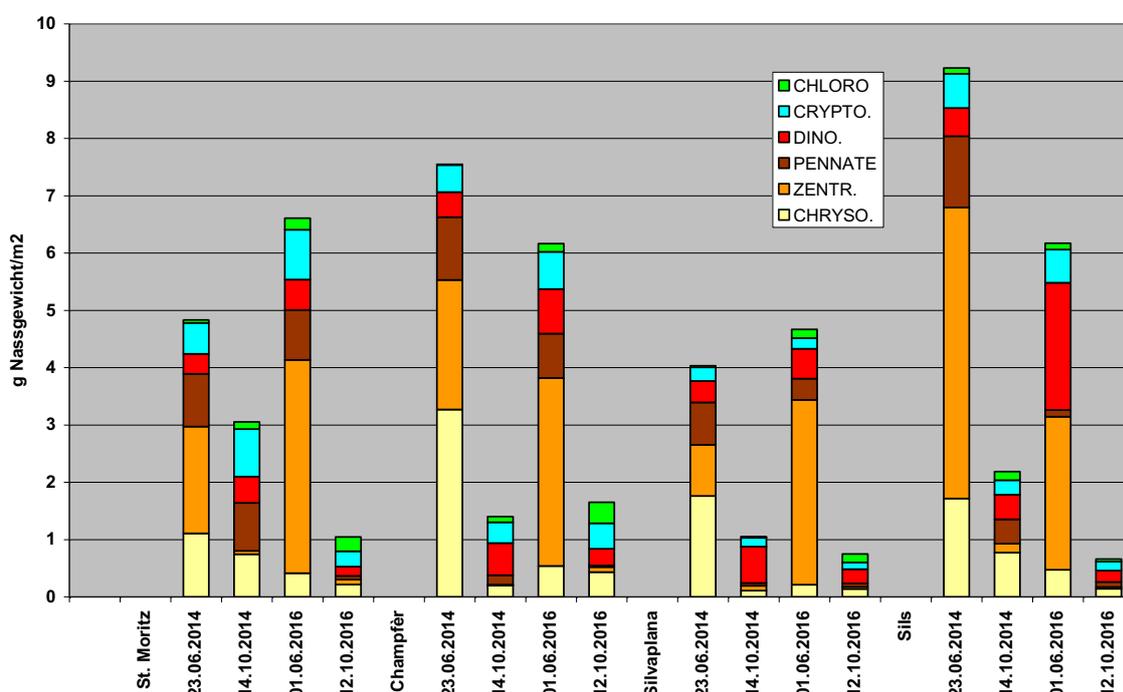
Die Vergleichsperiode im 2014 zeigt bezüglich der Juniwerte allerdings noch grössere Unterschiede zwischen den Seebecken Sils und Silvaplana. Der Juni entspricht aufgrund der thermischen Bedingungen im Engadin einer Frühjahrsituation von Mittellandseen: Die Planktonalgen zehren dann von den Nährstoffreserven aus der unproduktiven Winterzeit und können sich anhand der hohen Lichteinstrahlung sprunghaft vermehren. Jedes Seebecken zeigt dann eine vergleichbare Abfolge, ist aber nicht exakt synchron. Auch die 3 Wochen spätere Juniprobe im 2014 gegenüber 2016 kann für relativ grosse Biomasseunterschiede zwischen den Seen verantwortlich sein. Die dynamische und nur kurz anhaltende Hoch-Produktion am Ende der Eisbedeckung kann dann mehr oder weniger schon vorbei sein. 2016 scheinen die Seen diesbezüglich simultan gestartet zu sein (näher beim Start der Frühjahresentfaltung). Die Zooplanktonbiomasse ist als Regulator für das Phytoplankton im Juni noch nicht weit entwickelt. Allenfalls gab es einzelne Mikrozooplankter (Protozoen), die sich ähnlich schnell wie die Algen entwickeln und dem Nahrungsangebot folgen können. Während in den Mittellandseen durch die intensive Weidetätigkeit der Cladoceren im Mai-Juni schon ein Klarwasserstadium auftritt, bei dem die Zwergplankter fast vollständig verschwinden,

ist dieses Nannoplankton in den Engadinerseen im Juni auf dem Höhepunkt. Ein vergleichbares Klarwasserstadium ist dann erst im Oktober sichtbar (in Ermangelung weiterer Probenahmen im Sommer).

Das Verschwinden der Zwergalgen (=bevorzugte Nahrung für Cladoceren) korreliert dann offensichtlich mit hohen Biomassen der herbivoren Kleinkrebse. Diese leiden zu dieser Zeit aber schon unter Nahrungsmangel, weshalb die Daphnien auch Männchen bilden und anstelle von Klonbildung auf geschlechtliche Fortpflanzung umstellen. Dies ist immer ein



Phytoplankton Anteile Biomasse



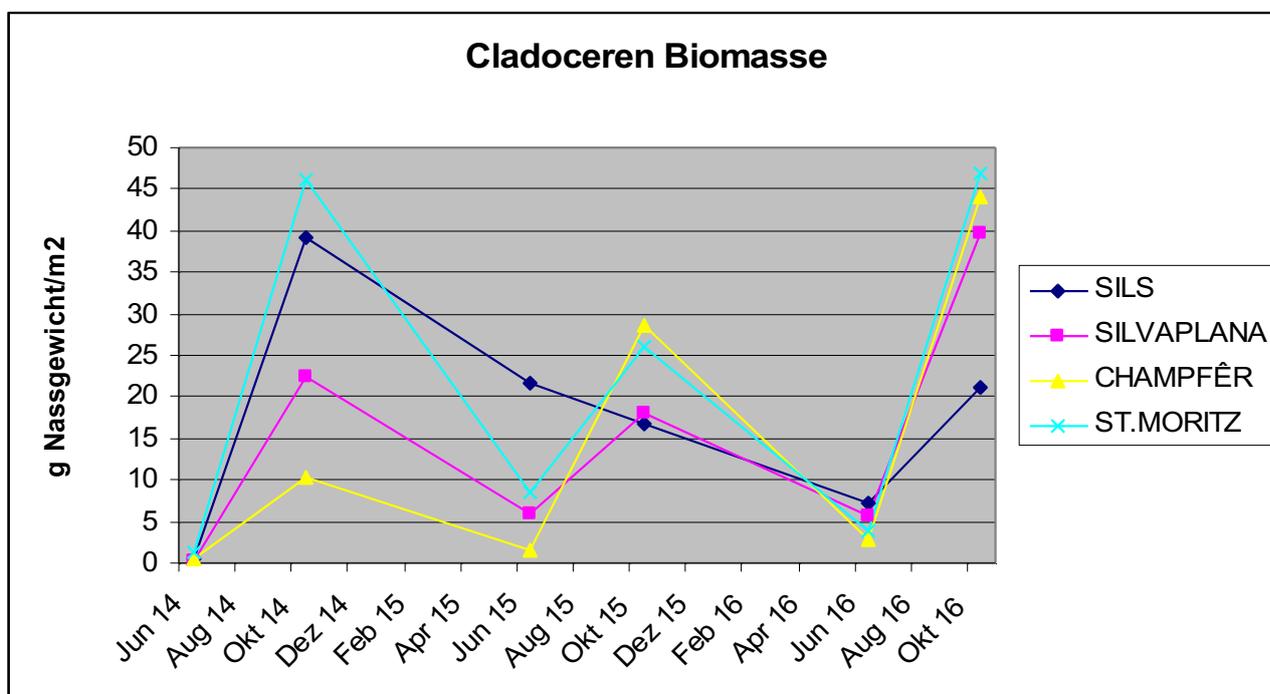
Hinweis auf herrschende oder kommende Notsituationen. Selbst die grösseren Algen (Netzplankton, so benannt weil sie in den Planktonnetzen hängen bleiben, während die Nannoplankter durch die Maschen schlüpfen) sind jeweils im Oktober nur noch minimal vorhanden. Neben einem gewissen Frassdruck durch die hungernden Zooplankter, die jetzt bei allgemeinem Nahrungsmangel auch sparrige Algen fressen, liegt das daran, dass die Nährstoffreserven im See weitgehend aufgebraucht sind.

Die Variabilität des Phytoplanktons wird in absoluten Werten durch die Chrysophyceen (Goldalgen) und Diatomeen bestimmt. Als gute Futteralgen spielen aber auch die Cryptomonaden eine wesentliche Rolle, da sie sehr schnell nachwachsen. Das weitgehende Fehlen von Augenflagellaten, Grünalgen und Blaualgen weist darauf hin, dass die Engadinerseen-trotz einer zeitweisen guten Produktivität- nicht zu den eutrophen Seen gehören. Der Artenkatalog des Phytoplanktons ist langfristig stabil, innerhalb der Untersuchungsperiode sind keine wesentlichen Veränderungen zu erkennen.

Biomassenentwicklung des Crustaceenplanktons

Das Zooplankton besteht im Wesentlichen aus drei Gruppen, den Einzellern (Protozoa), Rädertieren, (Rotatoria) und Kleinkrebsen (Crustacea). Für die planktivoren Fische sind letztere von Bedeutung. Es gibt keine einheimischen Fischarten, die sich direkt von Algen oder den etwa gleich grossen einzelligen Tieren ernähren. Allenfalls nutzen Jungfische in der ersten Lebensphase vereinzelt Rädertiere und grössere Einzeller. Danach werden die adulten Krebstiere bevorzugt. Der Erfolg des Beutemachens ist von der Erkennbarkeit der Tiere, deren Grösse und Ausweichmanöver abhängig. Die Krebstiere machen es den Fischen nicht leicht, denn sie sind meist durchsichtig klar und klein. Allerdings sorgt die verdaute Nahrung für gewisse Farbtupfer: Copepoden enthalten meist Öltröpfchen, die orangerot gefärbt sind, wenn viele Carotinoid-haltigen Algen gefressen wurden. In den Mägen von Planktonfressern finden sich dann bevorzugt solche Krebse. Die Farbe der Nahrung geht dann weiter ins Gewebe der Fische, welches dadurch auch rötlich wird. Die Crustaceen des Planktons gehören zu den Wasserflöhen (Cladoceren) oder zu den Ruderfusskrebse (Copepoden). Die am Ufer nicht seltenen Muschelkrebse (Ostracoden) sind im offenen Seewasser nicht zuhause.

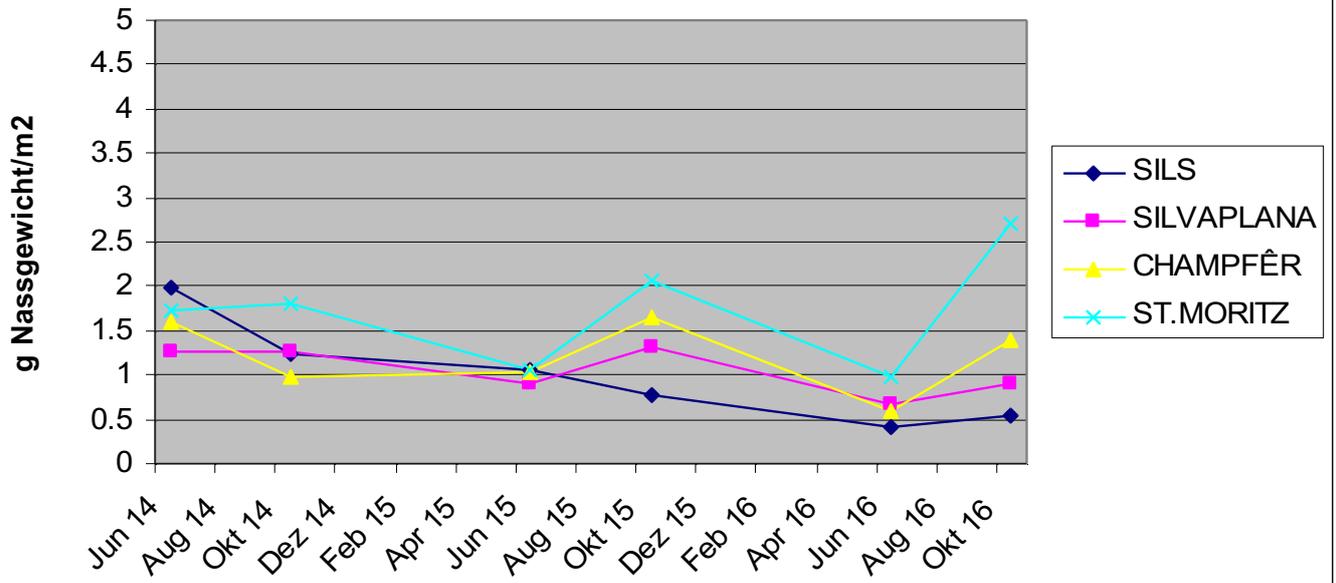
Die Cladoceren der Engadinerseen sind alle algivor, die Raubcladoceren (typische Sommerformen) fehlen, vielleicht auch deshalb, weil der Sommer so kurz ist. Die Copepoden teilen sich auf in algivore Schwebekrebse (hier Acanthodiatomus) und verschiedene Cyclopsarten. Die adulten Cyclopsarten sind carnivor, 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 Ueberleben 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 Oktoberproben 2016 wurden sog. Ehipprien registriert, welche Jahre im Sediment überleben können. Während der Wintermonate unter Eis sind zwar noch Zooplanktontiere vorhanden, aber sehr verdünnt. Für die Fische, welche im Winter laichen, fehlt dann in der Anwachsphase das Futter. Der ganze Fischbestand muss sich auf das Angebot zwischen Mai und November einstellen. Da umgekehrt viele Edelfische Fließgewässer zum Laichen nutzen, sind die Kleintiere am Bachgrund für die geschlüpften Jungfische, welche ihren Dottersack aufgezehrt haben, von Bedeutung. Die gesamte



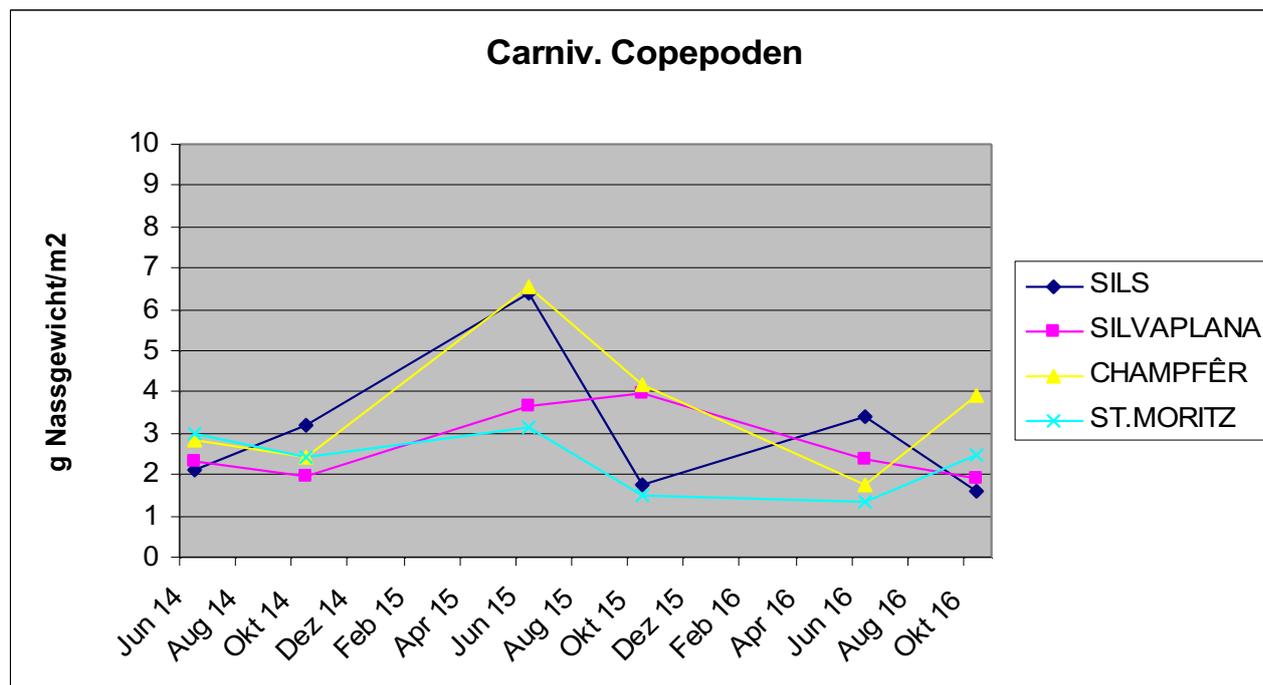
Produktivität des Planktons lässt sich aufgrund der unterbrochenen Entwicklungslinien nicht auf die Fischpopulation hochrechnen. Erwachsene Fische können zwar lange fasten, insbesondere im kalten Wasser. Aber wenn die Nahrung in empfindlichen Lebensabschnitten fehlt, nützt es nichts, wenn später alles im Uebermass vorhanden ist, es überleben dann nur wenige.

Das Nahrungsangebot für die Fische basiert vorwiegend auf den Cladoceren. Sie erreichen 5-10 mal höhere Biomassen als die Ruderfusskrebse (Copepoden). Die Ruderfusskrebse verzeichnen innerhalb eines Jahres geringere Sprünge, sind also fast immer in irgend einer Lebens-Phase vorhanden, denn die Entwicklungszeit (temperaturabhängig) vom Ei zum geschlechtsreifen Tier dauert mehrere Monate. Allfällige phasenverschobene Entwicklungslinien, welche als Räuber-Beute Beziehungen interpretiert werden könnten, sind aber oft nur das Resultat der Weiterentwicklung einer Kohorte von (herbivoren) Jugendstadien zu carnivoren Adultstadien.

herbiv.Copepoden Biomasse



Die Räuberichte 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. Schlechte Bedingungen lösen dann die Entwicklung von Männchen aus. Nur durch die geschlechtliche Vereinigung geht dann die bisherige Klonentwicklung in die heterogone Entwicklung mit Dauereiern in sattelförmigen Ehippia- Behältern über. Diese Schutzbehälter sind nicht benetzbar und haben eine gasgefüllte Schale, welche Auftrieb bewirkt. An der Seeoberfläche bleiben sie im Oberflächenhäutchen gefangen und werden von Wind und Wellen ans Ufer getrieben, wo sie bis zur Keimung im nächsten Jahr verharren. Ehippien, die ins tiefere Sediment gelangen, bleiben für Jahrzehnte keimfähig.

Diversität und Evenness

Wie schon in den früheren Berichten, berechnet ein Computerprogramm (nach H. Bührer) 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, Mikrozooplankton und Crustaceenplankton berechnet worden.

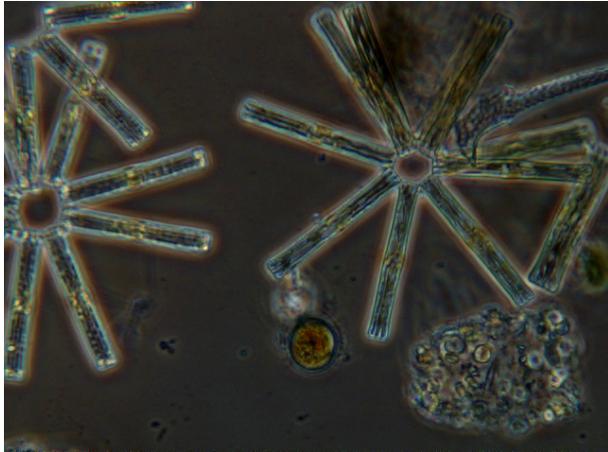
Die Phytoplanktonevenness lag meist zwischen 0.5 bis 0.8 was bei einer maximal möglichen Diversität von 4.7 bis 5.4 einen Diversitätsindex von ca. 3 bis 4 ergab. Dieser Wert weist die Engadinerseen als ausgewogen und artenreich besiedelte Gewässer aus, welche nicht durch Massenfaltungen einzelner Arten geprägt sind. Bei den Zooplanktonindices waren durchwegs tiefere Werte zu verzeichnen, da geringere Artenvielfalt zu tieferen maximalen Werten Hmax führten (<3bis>4).

Hier lagen oft auch die Biomasse basierten Werte unter den Berechnungen, welche gemäss Definition aus den Individuendichten hergeleitet werden. In der Praxis bewirken dann viele grosse Tiere (z.B. Daphnien) eine unausgewogene Biomasseverteilung, während die Evenness auf die reine Individuenzahl berechnet, mit kleineren Arten vergleichbar blieb.

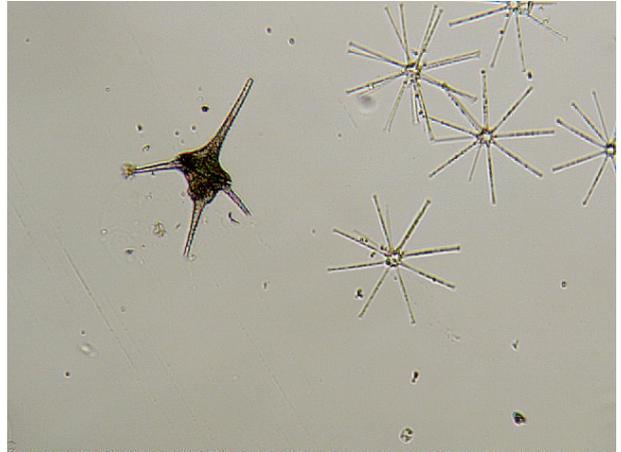
Beim Phytoplankton sind meist kleinere Arten zahlreicher als grössere, was eine bessere Ausgewogenheit bei der Biomasseberechnung ergibt, als bei den reinen Zählwerten. Die wenigen grossen Formen ergeben dann gleich hohe Biomasse wie viele kleine Formen zusammen. Die Diversitätsindices sind in den Tabellen mit der Biomasse jeweils am Schluss zusammengetragen.

9.2 Fotodokumentation Plankton

Phytoplankton (Fotos HR. Bürgi)



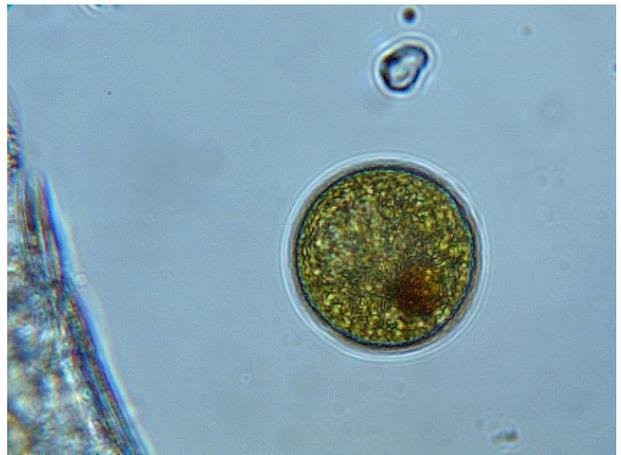
Kieselalge *Tabellaria* sp.



Kieselalge *Asterionella* sp.
Dinoflagellat *Ceratium* sp.



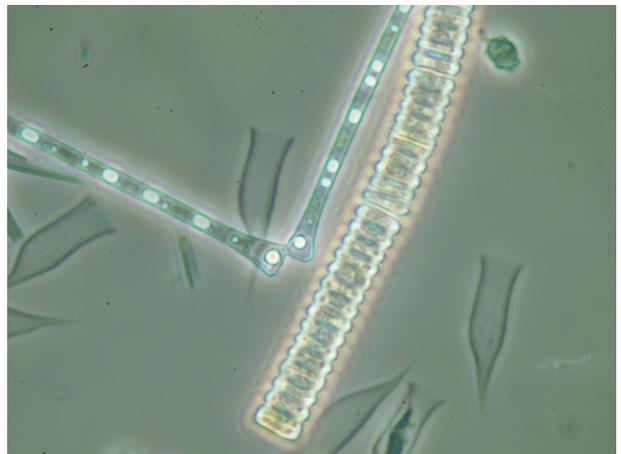
Kieselalge *Fragilaria* sp.



Augenflagellat *Euglena* sp. (zur Kugel zusammengezogen)



Dinoflagellat *Peridinium* sp.



Kieselalgenkette *Cyclotella* sp. neben *Asterionella* sp. und Bechern von *Dinobryon* sp.

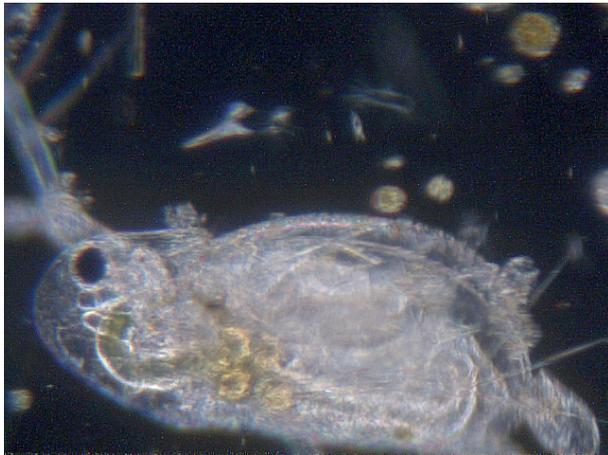
Zooplankton (Fotos HR. Bürgi)



Rüsselkrebs *Bosmina* sp.



Rüsselkrebs *Bosmina* sp.



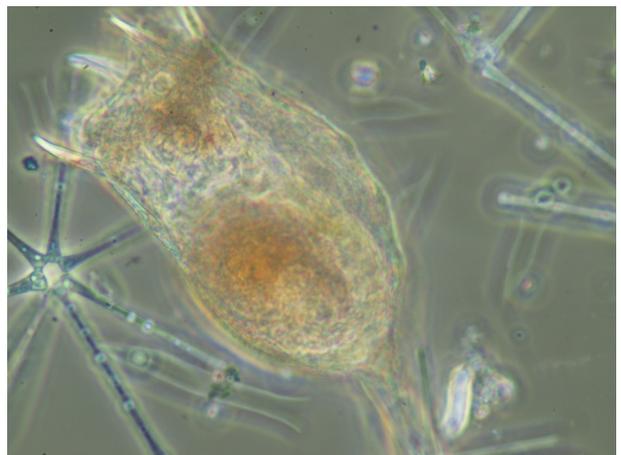
Kleinkrebs *Daphnia* sp.



Rädertierchen *Keratella* sp.



Rädertierchen *Kellikottia* sp. und *Conochilus* sp.



Rädertierchen *Keratella* sp. (unscharf, da lebend und beweglich)

9.3 Fischereiliche Korrelationen

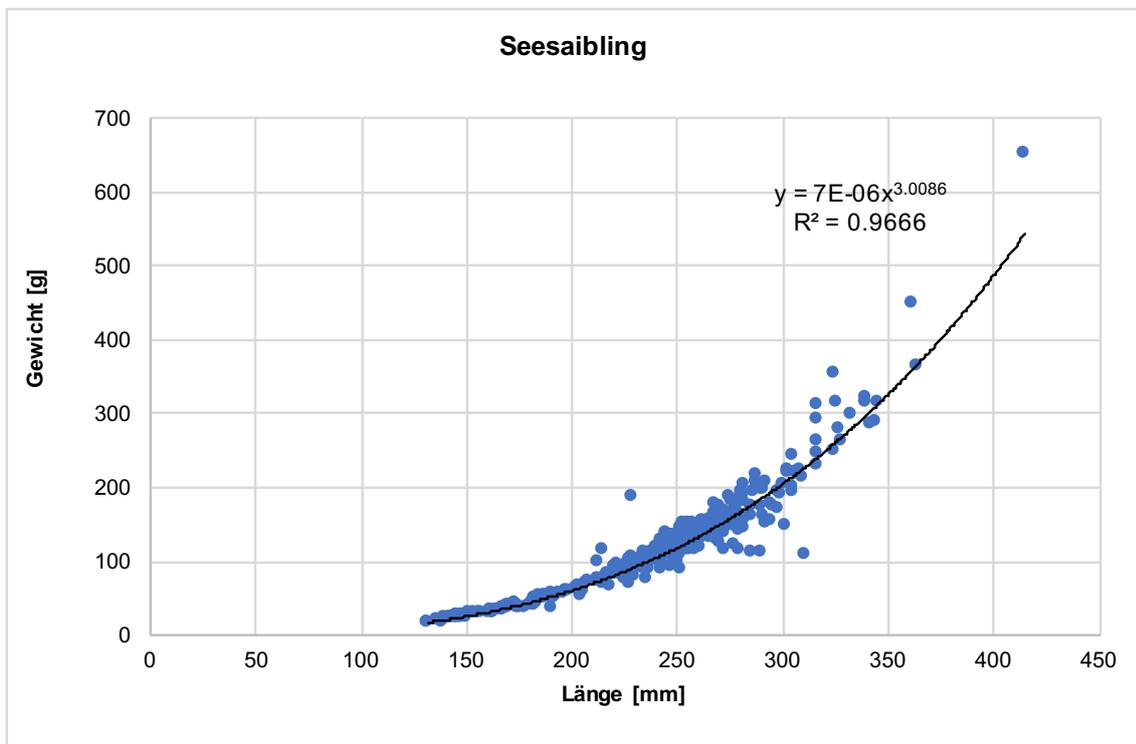


Abbildung 12 Längen-Gewichtsbeziehung für Seesaiblinge der Oberengadinerseen. Die Daten stammen von Netzfängen aller Oberengadiner Seen von 1994 bis 2001. Quelle: AJF.

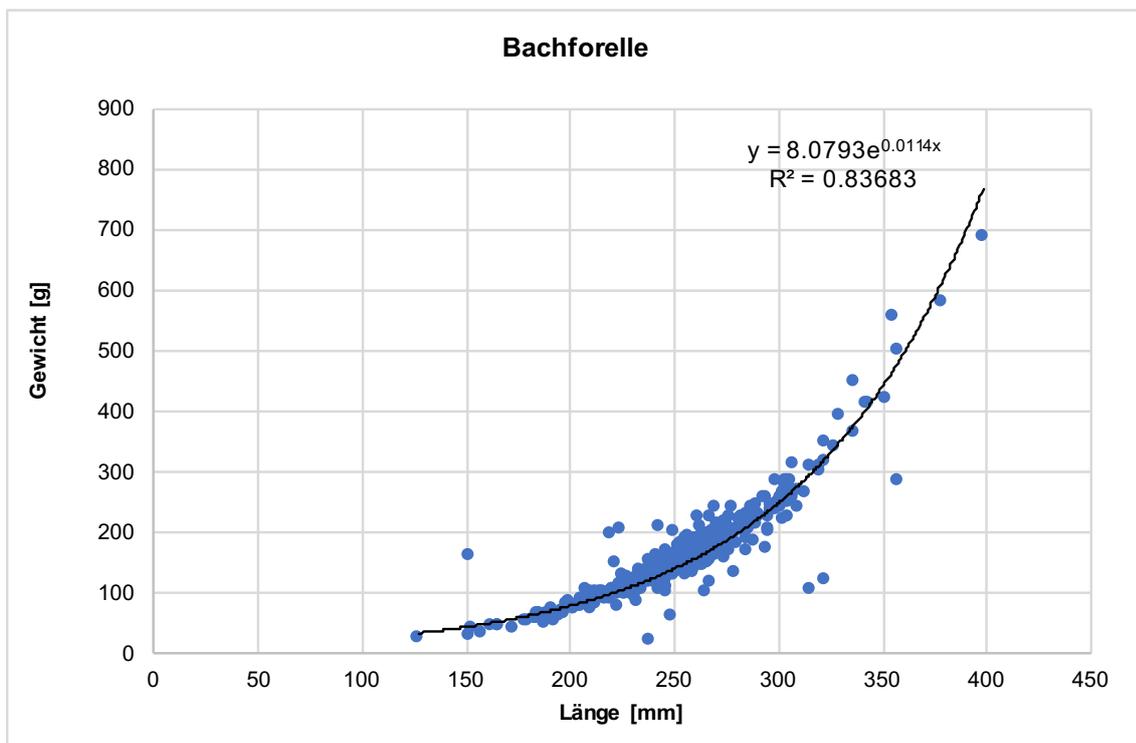


Abbildung 13 Längen-Gewichtsbeziehung für Bachforellen. Die Daten stammen von Netzfängen aller Oberengadiner Seen von 1994 bis 2001. Quelle: AJF.

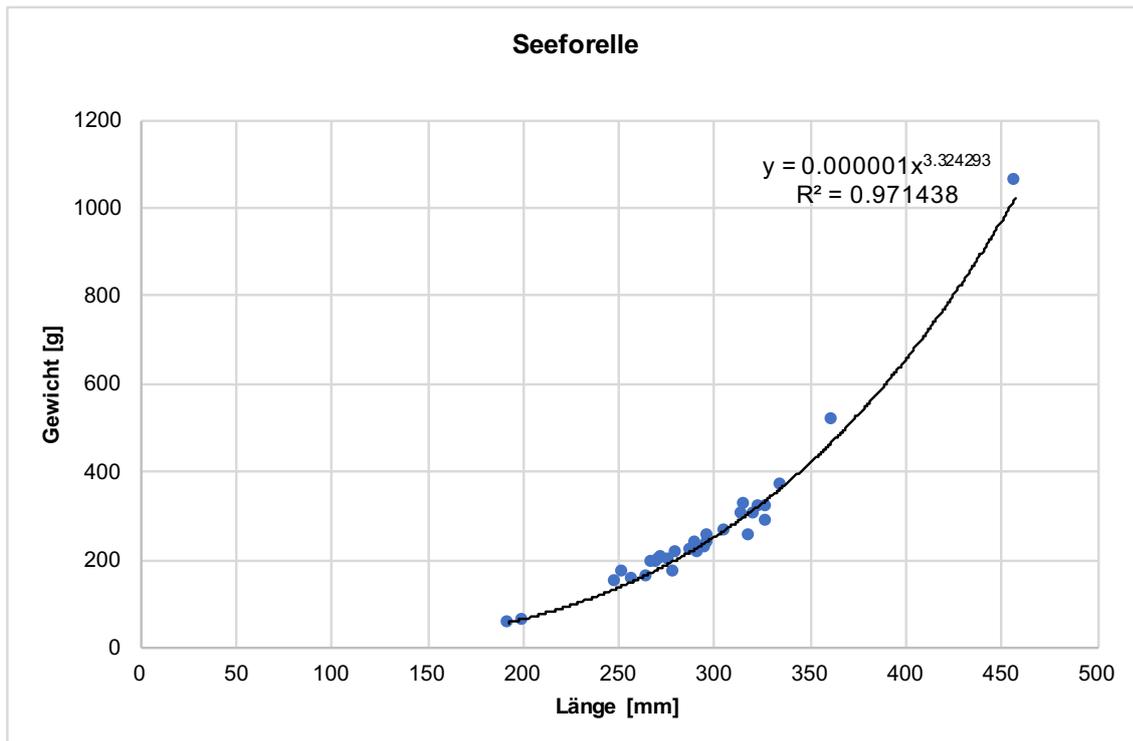


Abbildung 14 Längen-Gewichtsbeziehung für Seeforellen der Oberengadinerseen. Die Daten stammen von Netzfängen aller Oberengadiner Seen von 1994 bis 2001. Quelle: AJF.

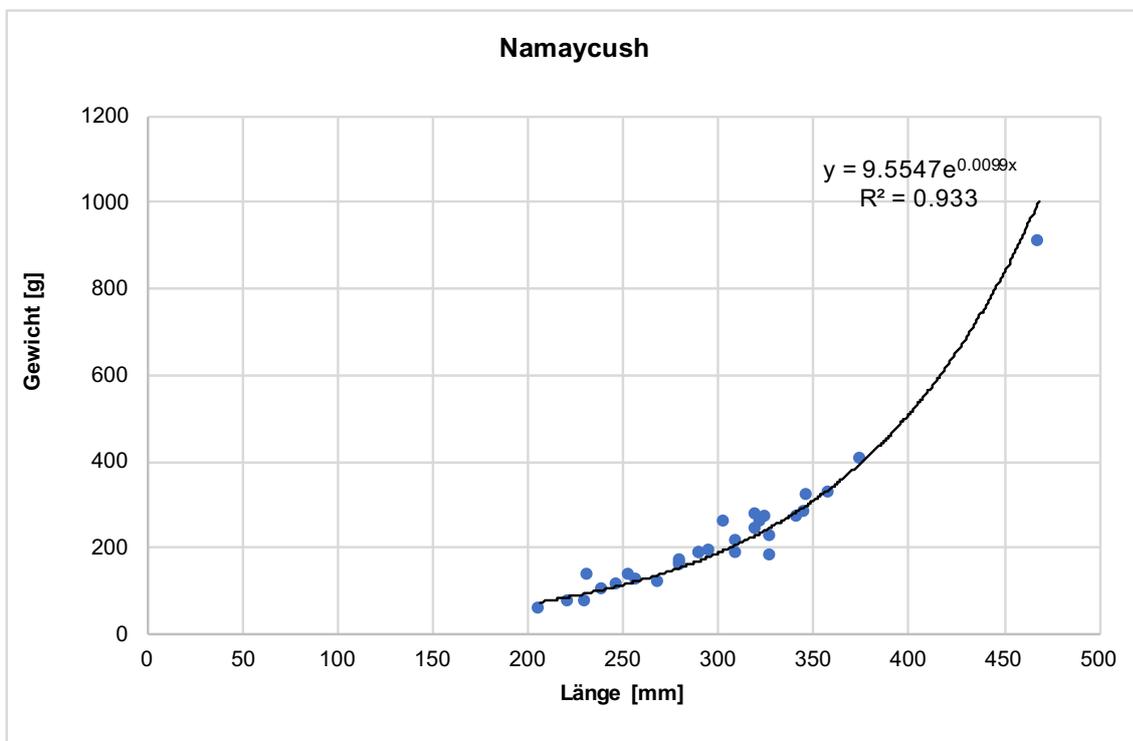


Abbildung 15 Längen-Gewichtsbeziehung für Namaycush (Kanadische Seeforelle) der Oberengadinerseen. Die Daten stammen von Netzfängen aller Oberengadiner Seen von 1994 bis 2001. Quelle: AJF.

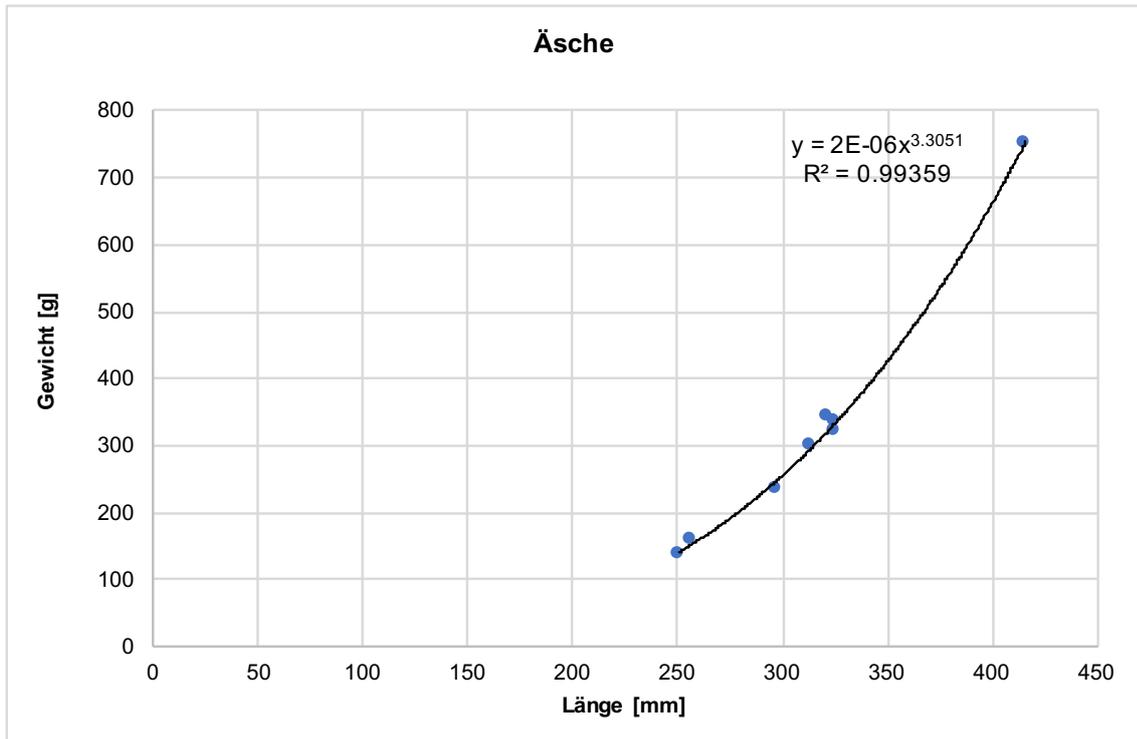


Abbildung 16 Längen-Gewichtsbeziehung für die Äsche. Die Daten stammen von Netzfängen der Jahre aller Oberengadiner Seen von 1994 bis 2001. Quelle: AJF.

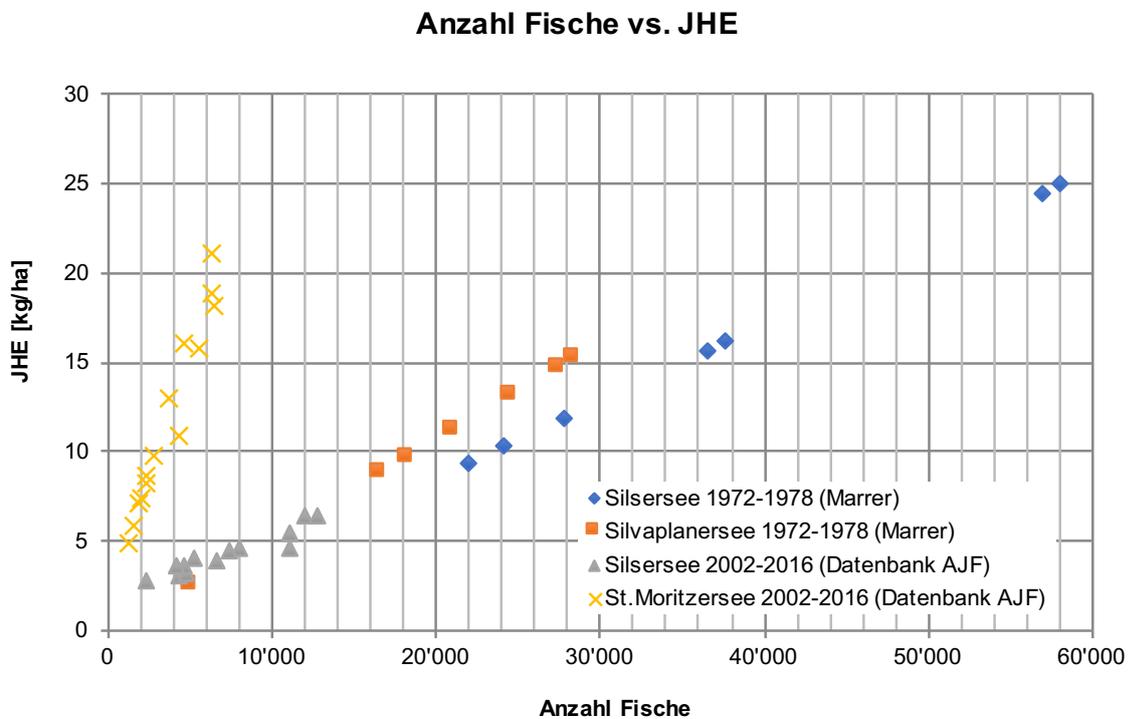


Abbildung 17 Anzahl gefangener Fische und Jahreshektarenertrag (JHE) für die Jahre 1972-1978 (Bericht Marrer 1979), sowie für die Jahre 2002-2016 (Berechnung basierend auf Datenbank AJF). Mit Hilfe der Daten von 1972-78 kann der JHE für die Vergleichsjahre 1991/92 abgeschätzt werden.