



Entwicklung des Phyto- und Crustaceenplanktons

Le développement du phytoplancton et du plancton de crustacés

- Brienzersee
- Thunersee
- Bielersee
- Neuenburgersee - lac de Neuchâtel
- Murtensee - lac de Morat



Amt für Wasser und Abfall, Bern, Gewässer- und Bodenschutzlabor GBL



Service de l'environnement, Fribourg



Service de la protection de l'environnement, Neuchâtel

Dezember / décembre 2019

Impressum

Herausgeber / *Editeurs*

AWA Amt für Wasser und Abfall
Gewässer- und Bodenschutzlabor (Projektleitung)
Schermenweg 11
3014 Bern
www.be.ch/awa

Service de l'environnement
Impasse de la Colline 4
1762 Givisiez
www.fr.ch/sen

Service de l'énergie et de l'environnement
Rue du Tombet 24
2034 Peseux
www.ne.ch/environnement

Autoren / *Auteurs*

K. Guthruf, V. Maurer, M. Zeh

Auswertung Phytoplankton / *Evaluation du phytoplancton:*

K. Guthruf-Seiler, GBL, Bern

Auswertung Crustaceenzooplankton / *Evaluation du plancton de crustacés:*

V. Maurer, GBL, Bern

Analysen Phytoplankton / *Dénombrement du phytoplancton*

Brienzer, Thuner- und Bielersee: D. Zbären (bis April 2004), K. Guthruf (ab Mai 2004)
Murtensee: D. Zbären (bis April 2004), K. Guthruf (ab Mai 2004)
Neuenburgersee: F. Straub, PhycoEco, La-Chaux-de-Fonds

Analysen Crustaceenzooplankton / *Dénombrement du plancton de crustacés:*

Brienzer, Thuner- und Bielersee: V. Maurer, GBL, Bern
Lac de Morat, Lac de Neuchâtel : H. Berner, Lenzburg

Übersetzung / *Traduction*

Etienne Rosset traduction, Fribourg
www.rosset-traduction.ch

Download / *Téléchargement*

Der Bericht kann auf den Internetseiten der kantonalen Fachstellen heruntergeladen werden.
Le rapport peut être téléchargé sur les sites internet des services cantonaux.

Titelbild / *Photo de couverture*

Daphnia hyalina, *Ceratium hirundinella*, *Nauplia* (K. Guthruf)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Introduction.....	7
3	Zusammenfassung	10
3.1	Fazit Phytoplankton	10
3.2	Fazit Crustaceenplankton	11
4	Résumé.....	12
4.1	Conclusions phytoplancton	12
4.2	Conclusions plancton de crustacées	13
5	Kenndaten der Seen / Données caractéristiques des lacs	14
6	Chemische Untersuchungen / Analyses chimiques	15
6.1	Brienzersee	17
6.2	Thunersee	18
6.3	Bielensee	19
6.4	Neuenburgersee	20
6.5	Lac de Neuchâtel.....	21
6.6	Murtensee	22
6.7	Lac de Morat	23
7	Phytoplankton.....	25
7.1	Charakterisierung des Phytoplanktons	25
7.2	Datengrundlagen Phytoplankton	25
7.3	Vorgehen.....	26
7.4	Literatur.....	26
7.5	Anpassungen der Probenahmetiefen in den letzten 25 Jahren.	27
7.5.1	Phytoplankton und Fluoreszenzdaten als Entscheidungsgrundlage	27
7.6	Resultate Phytoplankton	30
7.6.1	Entwicklung der Gesamtbiomasse	30
7.6.2	Gesamtbiomasse des Phytoplanktons und Chlorophyll a	32
7.6.3	Algengruppen.....	33
7.6.4	Algengruppen einzeln.....	35
7.6.5	Indikatortaxa in den 5 Seen	46
7.6.6	Phyto-See-Index PSI	48
7.7	Diskussion Phytoplankton	51
8	Crustaceenplankton	53
8.1	Einleitung	53
8.1.1	Ausgangslage und Ziele	53
8.1.2	Charakterisierung des Zooplanktons.....	53
8.1.3	Datengrundlagen	54
8.1.4	Literatur.....	54
8.1.5	Untersuchungsmethoden.....	55
8.2	Crustaceen-Systematik und Taxaliste	57
8.3	Gesamtabundanzen - Vergleich zwischen den Seen	59
8.4	Die Crustaceen-Arten	62
8.4.1	Nauplien.....	62
8.4.2	Calanoida.....	63
8.4.3	Cyclopida	66
8.4.4	Cladocera.....	73
8.5	Entwicklung des Crustaceenplanktons im Untersuchungszeitraum - Fazit und offene Fragen.....	81
8.6	Methodisches	84
8.6.1	Auswertungsunterlagen	84
9	Datenanhang	87

1 Einleitung

Die Kantone arbeiten zusammen

Die Gewässerschutzfachstellen der drei Kantone Bern, Fribourg und Neuchâtel verfügen über Wasserqualitätsdaten ihrer Seen über eine Zeitperiode von mehreren Jahrzehnten. Planktondaten sind aus früheren Jahren zwar vorhanden, aber aus verschiedenen Gründen oft nur schlecht miteinander vergleichbar. Die Ankündigung, dass die Expo.02 im 3-Seen-Land stattfinden würde, hatte Ende der 1990er- Jahre die drei Kantone dazu bewogen, ihre Untersuchungsprogramme für den Murten- Neuenburger- und Bielersee zu koordinieren. Seit 1999 werden die drei Seen im Programm BENEFR1 gemeinsam untersucht, wobei die gleichen Messinstrumente und vergleichbare Methoden zum Einsatz kommen. Seit 2002 sind aktuelle Daten auch auf der gemeinsamen Internetplattform www.die3seen.ch bzw. www.les3lacs.ch publiziert. Durch die Methodenangleichung der Planktonprobenahme, Bestimmung und Auszählung lassen sich nun auch die entsprechenden Daten des Briener- und Thunersees mit denjenigen der Jurarandseen vergleichen.

Ein zusammenhängendes System

In Port beim Seeausfluss des Bielersees erreicht das entwässerte Einzugsgebiet mehr als 8'200 km², was rund einem Fünftel der Schweizer Landesfläche entspricht. In diesem Einzugsgebiet liegen die durch die Aare verbundenen drei grossen Bernerseen sowie die beiden Jurarandseen Murten- und Neuenburgersee (der Murtensee entwässert via Broyekanal in den Neuenburgersee, welcher wiederum durch den Zihlkanal mit dem Bielersee verbunden ist). Auf Grund dieser hydrologischen Zusammenhänge macht es Sinn, die fünf Seen gemeinsam zu betrachten, auch wenn die Unterschiede zwischen dem ultra-oligotrophen Brienersee und dem eutrophen Murtensee beträchtlich sind.

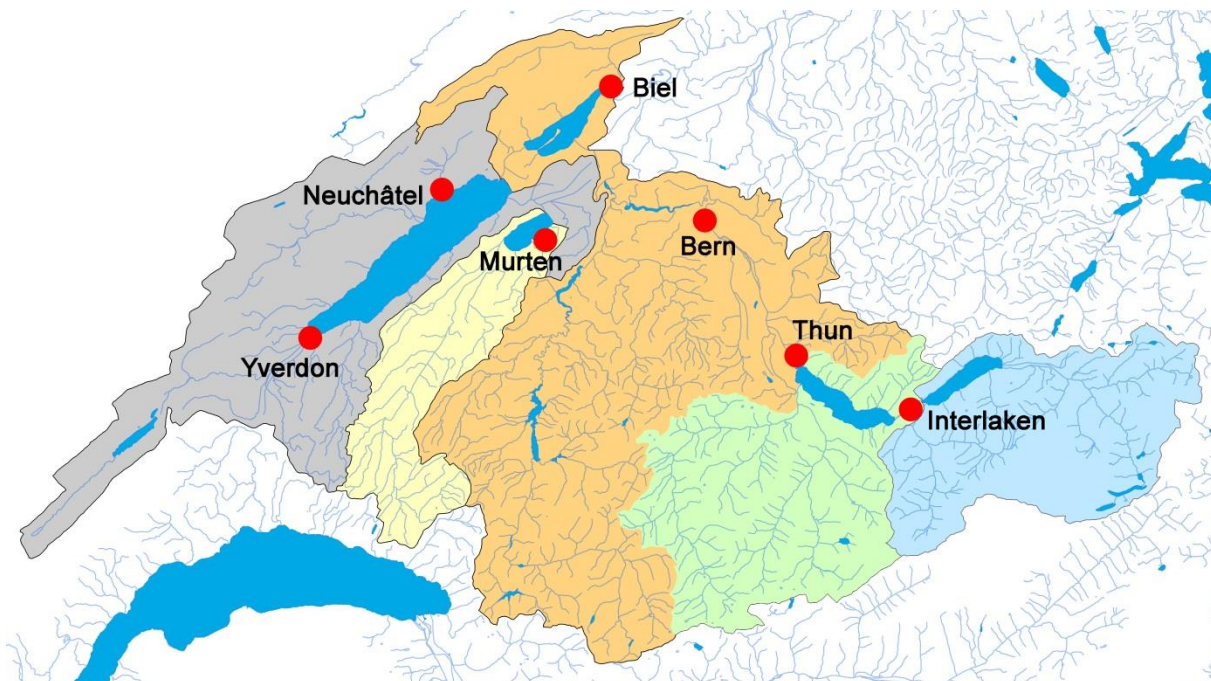


Abb. 1 Das Einzugsgebiet des Bielersees setzt sich zusammen aus demjenigen des Brienersees (blau), des Thunersees (grün), des Murtensees (gelb) sowie des Neuenburgersees (grau).

Gesetzliche Grundlagen

In der Gewässerschutzverordnung des Bundes (GSchV) wird für Seen eine höchstens „mittlere Produktion von Biomasse“ gefordert. Zur Artenzusammensetzung und zu Häufigkeiten des pflanzlichen und tierischen Planktons sind keine expliziten Anforderungen formuliert. Bei den ökologischen Zielen hingegen ist festgehalten, dass das Gewässer „eine Vielfalt und eine Häufigkeit der Arten aufweisen soll, die typisch ist für nicht oder nur schwach belastete Gewässer des jeweiligen Gewässertyps“. Bezüglich Sauerstoff verlangt die GSchV zu jeder Jahreszeit und in jeder Wassertiefe mindestens 4 mg O₂/l, natürliche Verhältnisse vorbehalten. Es ist die im Gewässerschutzgesetz festgelegte Aufgabe der kantonalen Gewässerschutzfachstellen, den Zustand der Seen zu untersuchen, zu dokumentieren und die Öffentlichkeit darüber zu informieren. Dazu gehört auch das Aufzeigen von Veränderungen im Sinne einer Erfolgskontrolle für die Investitionen in den technischen Gewässerschutz. Der vorliegende Bericht befasst sich mit einem Schlüsselfaktor des Seeökosystems - dem Plankton.

Die Rolle des Planktons

Das Phytoplankton ist die Basis des komplexen Nahrungsnetzes im See und wird anthropogen primär durch die Zufuhr von Nährstoffen (hauptsächlich Phosphor), sei es direkt über die Zuflüsse oder über diffusen Eintrag, beeinflusst. In grösseren Seen, wie den hier untersuchten, haben sich in den letzten Jahrzehnten Veränderungen des Seezustandes abgespielt, welche vorab die Entwicklung der Siedlungsentwässerung widerspiegeln. Der ab Mitte des letzten Jahrhunderts bis in die 1980er-Jahre verzeichnete zunehmende Phosphoreintrag hatte zu einer teilweise sehr starken Zunahme der Algenproduktion geführt. Da durch den bakteriellen Abbau der Biomasse Sauerstoff verbraucht wird, führen hohe Algendichten im Tiefenwasser der Seen zu Sauerstoffschwund. Im Bieler- und Murtensee werden diesbezüglich auch heute noch die entsprechenden Anforderungen der GSchV zu gewissen Jahreszeiten nicht eingehalten. Die Inbetriebnahme von Kläranlagen ab den 1970er-Jahren, weitere Fortschritte im technischen Gewässerschutz sowie das 1986 in Kraft gesetzte Phosphatverbot in Waschmitteln haben den Nährstoffeintrag wieder verringert. Der Ausbau grosser Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe wird neben einer substantiellen Elimination von Mikroverunreinigungen auch zu einer weiteren Abnahme der Phosphatfrachten in den grossen Seezuflüssen führen.

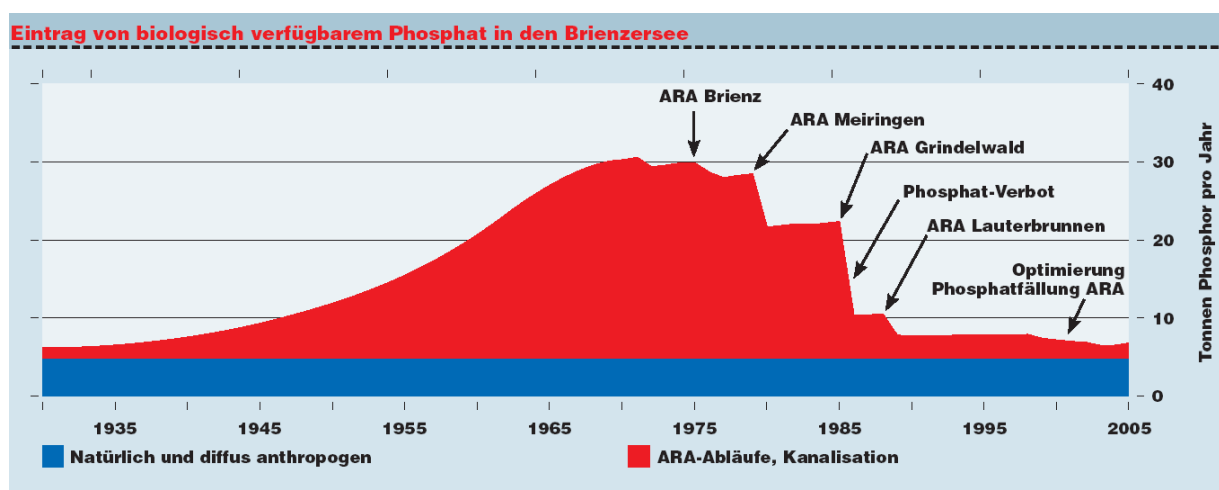


Abb. 2 Am Beispiel des Brienzersees lässt sich der Zusammenhang zwischen der Entwicklung des Phosphatgehaltes im See und dem Ausbau der Kläranlagen über die letzten Jahrzehnte gut dokumentieren. Quelle: Brienzersee: Ein Ökosystem unter der Lupe (2006).

Das Plankton, sowohl das Phyto- wie das Zooplankton, haben auf diese Änderungen reagiert, wenn auch unterschiedlich und nicht in allen Seen gleich stark. Gründe für die unterschiedliche Entwicklung liegen u.a. in der Grösse und Nutzung des Einzugsgebietes, der Morphometrie der einzelnen Seen sowie der Wassererneuerungszeit. Der Bericht zeigt diese Vielfalt sowie die seespezifischen Variationen und Veränderungen der Planktonbiozöten auf.

Planktondaten sind umso wertvoller, je länger die Zeitreihen sind. Erst so lassen sich langfristige Entwicklungen und Veränderungen erkennen. Im Kanton Bern wird das Plankton der grossen Seen seit den 1970er-Jahren untersucht. Seit 1994 in einer standardisierten Form.

Von Nef (1992) liegt erstmals eine zusammenfassende Auswertung des Phytoplanktons der grossen Berner Seen vor. 2009 hat das Gewässer- und Bodenschutzlabor GBL eine detaillierte Auswertung der Phyto- und Zooplanktondaten sowohl der beiden Berner Oberland-Seen wie auch der 3 Jurarand-Seen vorgenommen. Der vorliegende Bericht basiert auf diesen Grundlagen und Auswertungsmethoden und ist eine Fortschreibung des Berichtes von 2009.

2 Introduction

Les cantons collaborent

Les services de protection des eaux et de l'environnement des cantons de Berne, Fribourg et Neuchâtel disposent de données concernant la qualité de l'eau des lacs s'échelonnant sur plusieurs décennies. Des données sur le plancton des années antérieures sont bien disponibles, mais pour différentes raisons elles sont difficilement comparables entre elles. La présence d'Expo.02 dans le Pays des Trois Lacs a incité, à la fin des années 1990, les trois cantons à coordonner leurs programmes d'investigation et de surveillance des lacs de Morat, Neuchâtel et Bienne. Depuis 1999, les trois lacs sont surveillés dans le cadre du programme BENEFR1, en utilisant les mêmes instruments de mesure et des méthodes d'analyses comparables. Les données actuelles sont publiées depuis 2002 sur la page internet commune www.die3seen.ch resp. www.les3lacs.ch. Grâce à l'adoption de méthodes similaires pour les prélèvements, la détermination et le comptage, les données correspondantes provenant des lacs de Brienz et de Thoun sont désormais comparables à celles des lacs subjurassiens.

Un système hydrologique interconnecté

Le bassin versant drainé par l'effluent du lac de Bienne atteint à Port une surface de plus de 8'200 km² correspondant à peu près au cinquième de la surface de la Suisse. Dans ce bassin versant se situent les trois grands lacs bernois reliés par l'Aar ainsi que les lacs subjurassiens de Morat et de Neuchâtel (le lac de Morat se déverse via le canal de la Broye dans le lac de Neuchâtel, qui à son tour s'écoule via le canal de la Thielle dans le lac de Bienne). Tenant compte de ce réseau hydrologique, il apparaît judicieux d'étudier les cinq lacs dans leur ensemble, même si les différences entre le lac de Brienz ultra-oligotrophe et le lac de Morat eutrophe sont considérables.

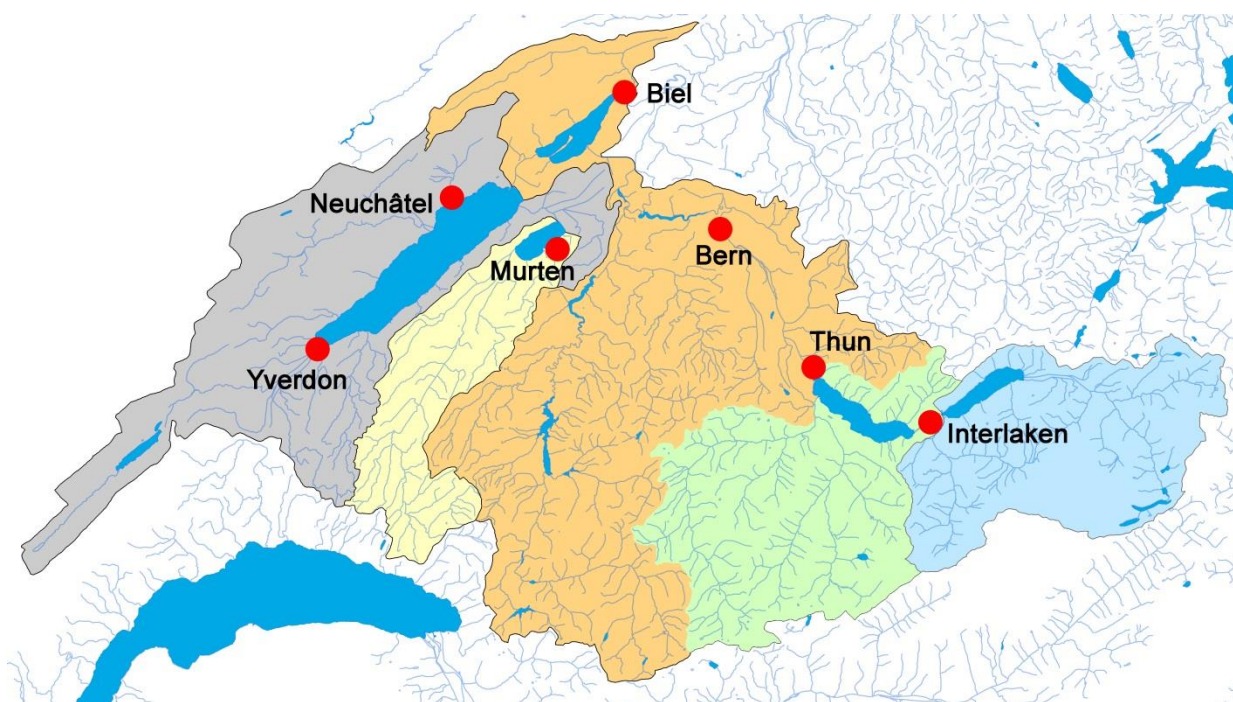


Abb. 3 Le bassin versant du lac de Bienne comprend ceux des lacs de Brienz (bleu), Thoun (vert), Morat (jaune) ainsi que celui du lac de Neuchâtel (gris).

Bases légales

L'ordonnance fédérale sur la protection des eaux (OEaux) exige pour des étendues d'eau que la teneur en nutriments doit permettre une production de biomasse qui ne dépasse pas la moyenne. N'y figure pas d'exigence relative à la composition en espèces et à l'abondance du plancton végétal et animal. En revanche, les objectifs écologiques requièrent une composition et une diversité d'espèces spécifiques à chaque type d'eau peu ou non polluée. L'OEaux exige également que la teneur en oxygène de l'eau ne soit, à aucun moment et à aucune profondeur, inférieure à 4 mg O₂/l, hormis dans des conditions naturelles particulières. En application de la loi sur la protection des eaux, il incombe aux services cantonaux de protection des eaux de surveiller et de documenter l'état sanitaire des eaux et d'en informer la population. Cela englobe également la valorisation des éventuelles améliorations observées dans le cadre du contrôle d'efficacité des mesures techniques de protection des eaux qui ont nécessité de lourds investissements. Pour cette raison, ce rapport s'occupe d'un facteur clé du système écologique lacustre : le plancton.

Le rôle du plancton

Le phytoplancton représente la base de la chaîne alimentaire complexe d'un lac. Il est influencé par l'homme, en premier lieu, par son apport en nutriments (principalement du phosphore), soit directement par les affluents, soit par des apports diffus. Dans les grands lacs, tels ceux examinés dans ce rapport, des changements de leur état qualitatif ont eu lieu ces dernières décennies, reflétant avant tout le développement de l'évacuation des eaux urbaines. L'augmentation des apports en phosphore enregistrée à partir du milieu du siècle passé jusque dans les années 1980 a conduit à une augmentation parfois très forte de la production d'algues. Puisque la décomposition bactérienne de la biomasse nécessite de l'oxygène, une forte densité d'algues a comme corollaire une diminution de cet élément dans les eaux profondes. Dans les lacs de Morat et de Bienne, les exigences de l'OEaux ne sont pas respectées à certaines époques de l'année encore aujourd'hui. La mise en service des stations d'épuration à partir de 1970, des progrès supplémentaires dans la protection technique des eaux ainsi que l'entrée en vigueur en 1986 de l'ordonnance sur les substances interdisant l'utilisation de phosphore dans les produits de lessive ont contribué à une diminution des apports en éléments nutritifs. Le développement d'un traitement supplémentaire dans les grandes stations d'épuration mènera non seulement à une élimination substantielle des micropolluants, mais également à une nouvelle diminution des charges de phosphate dans les grands affluents des lacs.

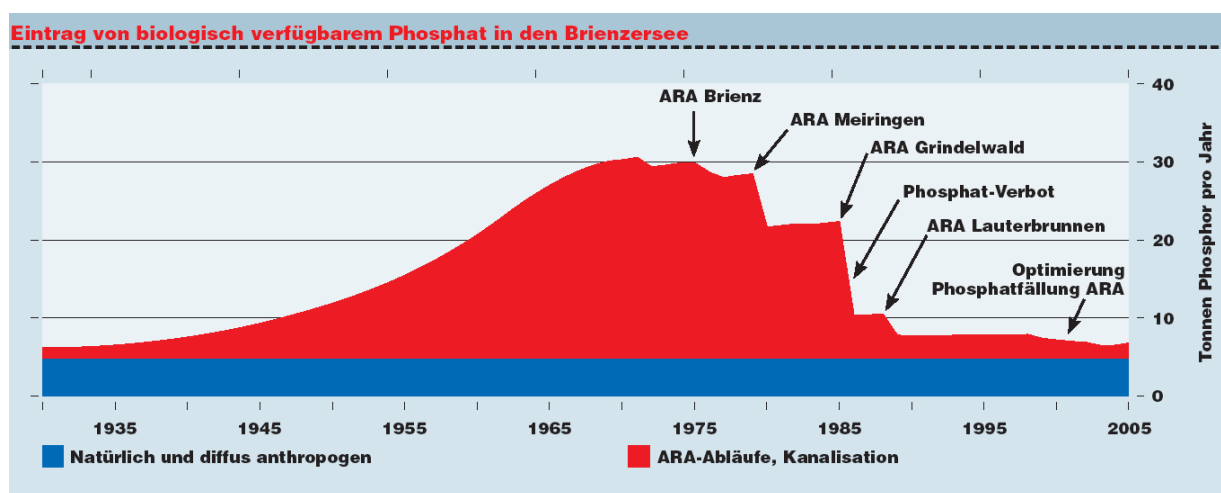


Abb. 4 L'exemple du lac de Brienze illustre les relations entre les teneurs en phosphate du lac et la mise en service et l'agrandissement des stations d'épuration. Source: Brienzersee: Ein Ökosystem unter der Lupe (2006).

Le plancton, tant le phyto- que le zooplancton, a réagi à ces changements, mais pas de la même manière et avec la même vigueur dans tous les lacs. Les causes de ces évolutions divergentes sont à rechercher, entre autre, dans la taille et l'utilisation du bassin versant, dans la morphométrie des lacs ainsi que dans le temps de renouvellement de l'eau. Ce rapport illustre cette diversité ainsi que les variations et changements de la biocénose planctonique spécifiques à chaque lac.

Plus les séries chronologiques sont longues, plus les données sur le plancton sont précieuses, car les évolutions et changements à long terme ne sont reconnaissables que dans de longues séries de données. Dans le canton de Berne, le plancton des grands lacs est analysé depuis les années 1970. Depuis 1994, cette analyse se fait sous forme standardisée.

Nef (1992) a publié pour la première fois une synthèse de l'évaluation du phytoplancton des lacs bernois. En 2009, le laboratoire de la protection des eaux et du sol (GBL) a procédé à une évaluation détaillée des données sur le phyto- et le zooplancton des deux lacs de l'Oberland bernois et des trois lacs subjurassiens. Le présent rapport repose sur ces bases et méthodes d'analyse et peut être considéré comme la mise à jour de du rapport publié en 2009.

3 Zusammenfassung

3.1 Fazit Phytoplankton

Die langjährigen Untersuchungen des Phytoplanktons dokumentieren die Entwicklung in den fünf Seen. In diesem Bericht wird primär auf das Phytoplankton insgesamt bzw. auf die Planktongruppen eingegangen und nicht auf die einzelnen Arten.

In allen Seen sind die hohen Peaks der Gesamtbiomasse trotz gleichbleibender Probenahmefrequenz seltener geworden. In eher eutrophen Gewässern sind solche Peaks (Algenblüten) häufiger als in meso- oligotrophen Gewässern.

Die Jahresmittel der Gesamtbiomassen in Neuenburger-, Thuner- und Brienzersee liegen seit 2012 mit der Vergrößerung der Probenahmetiefe von 0-20m auf 0-40m etwa auf dem gleichen Niveau. Wobei das Jahresmittel des Brienzersees etwas kleiner ist als dasjenige des Thunersees, und dieses wiederum deutlich kleiner als dasjenige des Neuenburgersees ist.

Die Jahresmittel der Gesamtbiomasse von Bieler- und Murtensee nehmen in der Untersuchungsperiode hingegen deutlich ab, trotz Vergrößerung der Probenahmetiefe i von 0-15 m auf 0-20 m im Bielersee.

Die Algengruppen *Bacillariophyceen* (Kieselalgen) und *Chrysophyceen* (Goldalgen) weisen die grössten Biomasseanteile in allen Seen auf, dies seit Beginn der Untersuchungsperiode (BRZ, THU, BIE, MUR) bzw. in den letzten 15 Jahren (NEU).

Die *Bacillariophyceen* (Kieselalgen) weisen in allen Seen noch sehr starke Schwankungen im Jahresmittel auf. Eine leichte Tendenz zur Abnahme ist in Bieler- und Brienzersee erkennbar,

Das Jahresmittel der *Chrysophyceen* (Goldalgen) weist in allen Seen eine mehr oder wenige abnehmende Tendenz auf.

Die Jahresmittel der *Dinophyceen* (Panzerflagellaten) haben in allen Seen mit einer Vergrößerung der Probenahmetiefe leicht zugenommen (BRZ, THU, BIE, NEU).

Die Biomassen der *Cryptophyceen* (Schlundalgen) haben in allen Seen mit einer Probenahmevergrößerung in grössere Tiefen (0-40 m) (BRZ, THU, NEU) zugenommen.

Die Jahresmittel der Biomassen der *Haptophyceen* (Kalkalgen) und *Chlorophyceen* (Grünalgen) haben tendenziell eher abgenommen oder sind auf tiefem Niveau gleich geblieben.

In allen Seen liegt der Anteil der gefundenen Indikatortaxa der Ökoregion AVA (Alpen und Voralpen) an der Gesamttaxazahl eines Jahres eines Sees im Bereich von 20-30%. Dieser Anteil blieb während der Untersuchungsperiode in jedem See etwa gleich.

Die Indikatortaxa der Ökoregion AVA (Alpen und Voralpen), welche oligotrophe und mesotrophe Bedingungen anzeigen, weisen in Brienzer- und Thunersee seit Beginn der Untersuchungsperiode einen sehr hohen Anteil von rund 80% an der gesamten Indikatortaxazahl auf.

In den Juraseen hat dieser Anteil der Indikatortaxa seit Beginn der Untersuchungsperiode deutlich zugenommen auf Kosten der poly- und hypertrophen Indikatortaxa und liegt jetzt zwischen 60 und knapp 80%.

Der Phyto-See-Index (PSI) zeigt seit Mitte der Untersuchungsperiode (ca. 2010) in Brienzer- und Thunersee einen guten bzw. sehr guten gewässerökologischen Zustand an, was dem Referenzzustand für das Phytoplankton entspricht.

In den Juraseen sank der PSI-Wert seit Beginn der Untersuchungsperiode und zeigt jetzt seit einigen Jahren einen guten Zustand für Bieler- und Neuenburgersee an. Im Murtensee war er bis 2017 mässig und erreichte 2018 erstmals einen guten Zustand.

3.2 Fazit Crustaceenplankton

Die langjährigen Untersuchungen des Crustaceenplanktons dokumentieren die Entwicklung in den 5 Seen. In der Regel sind die dabei beobachteten Veränderungen eher unauffällig und betreffen oft einzelne Arten und weniger die Gesamtvorkommen und die Verteilung der Hauptgruppen. In der Untersuchungsperiode 2008 bis 2018 sind aber doch zwei sehr interessante Entwicklungen aufgetreten.

Eine ist die **Entwicklung der Daphnien im Brienzersee**. Nach einem fast totalen Ausfall der Daphnien im Jahr 1999, das vom Lawinenwinter und den Mai-Hochwassern geprägt war, fehlte in den Folgejahren die Sommergeneration. Ab 2008 waren diese Wasserflöhe dann fast völlig verschwunden. Erst ab Herbst 2013 zeigte sich eine bis heute anhaltende Erholung der Bestände – mit Ausnahme eines Aussetzers im Sommer 2015 nach der Spülung des Stausees Räterichsboden im Grimselgebiet. Interessanterweise entwickelte aber genau in dieser Zeit ohne Daphnien der Springwasserfloh *Diaphanosoma brachyurum* grosse Bestände im Pelagial des Brienzersees, die sich mit der Wiedererholung der Daphnien wieder verkleinern. Stehen die beiden Arten im Pelagial wirklich in Konkurrenz?

Die andere ist das neue Auftreten und die darauf folgende starke Zunahme des kleinen Hüpferlings ***Thermocyclops crassus***, ab 2006 im Bielersee und ab 2011 im Murtensee. Im heissen Sommer 2018 wurden die höchsten Besiedlungsdichten beobachtet (Abb. 44). Gemäss der Fachliteratur liegen die bevorzugten Temperaturen des *Thermocyclops crassus* zwischen 25 und 30 Grad Celsius – dies bei einer normalen Temperaturspanne von 21 bis 32°Grad. Diese Entwicklung deutet darauf hin, dass die im Zuge des Klimawandels tendenziell steigenden Wassertemperaturen die Zuwanderung und Ausbreitung von wärmeliebenden Arten in unseren Gewässern begünstigen.

Generell bilden im **Brienzer-** und **Thunersee** die Copepoda mit Calanoida und Cyclopida die wichtigsten Gruppen des Crustaceen-Planktons und dominieren zahlenmässig klar. Im Sommer und Herbst erreichen aber auch die Daphnien recht hohe Anteile. Die zeitliche Entwicklung zeigt generell wenig deutliche Veränderungen. Im Brienzersee ging die Gesamthäufigkeit bis 2006 leicht zurück und steigt seither tendenziell wieder an. Der Thunersee zeigt insgesamt eine leicht abnehmende Tendenz und nach 2013 kaum mehr stärkere Massenentwicklungen einzelner Gruppen im Sommer.

In den **Jurarandseen** zeigt das Crustaceenplankton eine ganz andere Zusammensetzung. Neben den im Oberland bekannten Arten kommen viele weitere dazu. Zwar sind die Calanoida mit den gleichen Arten vertreten und kommen auch in ähnlichen Mengen vor, doch haben die Hüpferlinge im Seeland eine viel wichtigere Bedeutung. Innerhalb dieser Gruppe finden seit den 1970er-Jahren die grössten Verschiebungen hin zu Arten aus weniger stark gedüngten Gewässern statt. Ähnlich verläuft die Entwicklung auch bei den Blattfusskrebse, wo die Bestände der Daphnien und Bosminidae ebenfalls eine abnehmende Belastung des Sees mit Nährstoffen signalisieren.

Im **Bielersee** zeigt zwar die Gesamtabundanz keine abnehmende Tendenz, viele Taxa und Gruppen nehmen aber deutlich ab. Dies sind aber insbesondere Taxa die eutrophe Gewässer bevorzugen. Kompensiert wird dies aber durch die deutliche Zunahme von *Eudiaptomus gracilis* in den letzten Jahren. Im **Neuenburgersee** sind kaum Veränderungen zu beobachten ausser kurzfristigen Bestandesschwankungen. Am auffälligsten ist die Abnahme der Bosminidae. Am deutlichsten fällt die Veränderung im **Murtensee** aus. Der Rückgang von vielen auch häufigen Taxa kann nicht durch die Zunahme von *Thermocyclops crassus* kompensiert werden, so dass hier auch die Gesamtabundanz abnimmt.

4 Résumé

4.1 Conclusions phytoplancton

Les analyses du phytoplancton effectuées sur une longue durée documentent leur développement dans les 5 lacs. Ce rapport traite essentiellement du phytoplancton en général ou des groupes de plancton et non des espèces individuelles.

Les pics de biomasse totale sont devenus plus rares dans tous les lacs, malgré une fréquence de prélèvement restée constante. De tels pics (prolifération d'algues) sont plus fréquents dans des eaux plutôt eutrophes que dans des eaux méso- ou oligotrophes.

Les moyennes annuelles des biomasses totales dans les lacs de Neuchâtel, Thoune et Brienz sont à peu près constantes depuis 2012 et l'augmentation de la profondeur de prélèvement de 0-20 m à 0-40 m. La moyenne annuelle du lac de Brienz est cependant légèrement inférieure à celle du lac de Thoune, qui est à son tour nettement inférieure à celle du lac de Neuchâtel.

Par contre, les moyennes annuelles de la biomasse totale des lacs de Bienne et de Morat diminuent considérablement durant la période d'étude, malgré l'augmentation de la profondeur de prélèvement de 0-15 m à 0-20 m dans le lac de Bienne.

Les groupes d'algues *Bacillariophycées* (diatomées) et *Chrysophycées* (algues dorées) constituent la plus grande part de la biomasse dans tous les lacs, et ceci depuis le début de la période d'étude (Brienz, Thoune, Bienne, Morat) respectivement ces 15 dernières années (Neuchâtel).

La moyenne annuelle des *Bacillariophycées* (diatomées) présente encore de fortes fluctuations dans tous les lacs. Une légère tendance à la diminution peut être constatée dans les lacs de Bienne et de Brienz.

La moyenne annuelle des *Chrysophycées* (algues dorées) affiche une tendance plus ou moins décroissante dans tous les lacs.

Les moyennes annuelles des *Dinophycées* ont légèrement augmenté dans tous les lacs avec une augmentation de la profondeur de prélèvement (Brienz, Thoune, Bienne, Neuchâtel).

La biomasse des *Cryptophycées* a augmenté dans tous les lacs avec une augmentation des prélèvements à de plus grandes profondeurs (0-40 m) (Brienz, Thoune, Neuchâtel).

Les moyennes annuelles de la biomasse des *Haptophycées* et des *Chlorophycées* (algues vertes) ont tendancielllement plutôt diminué ou sont restées stables à un niveau bas.

Dans tous les lacs, la proportion des taxons indicateurs de l'écorégion alpes et préalpes trouvés parmi l'ensemble des taxons d'un lac en une année est de l'ordre de 20 à 30 %. Cette proportion est demeurée à peu près constante dans chaque lac durant la période d'étude.

Les taxons indicateurs de l'écorégion alpes et préalpes indiquant des conditions oligotrophes et mésotrophes représentent une part très élevée de 80 % du nombre total de taxons indicateurs depuis le début de la période d'étude dans les lacs de Brienz et de Thoune.

Dans les lacs du Jura, cette part de taxons indicateurs a sensiblement augmenté au détriment des taxons indicateurs poly- et hypertrophes depuis le début de la période d'étude pour atteindre actuellement des proportions se situant entre 60 et près de 80 %.

Le Phyto-See-Index (PSI) indique un état écologique des eaux bon à très bon depuis le milieu de la période d'étude (env. 2010) dans les lacs de Brienz et de Thoune, ce qui correspond à l'état référence pour le phytoplancton.

Dans les lacs du Jura, la valeur du PSI a baissé depuis le début de la période d'étude et indique actuellement depuis quelques années un bon état pour les lacs de Bienne et de Neuchâtel. Le lac de Morat affichait un état moyen jusqu'en 2017 et a atteint pour la première fois un bon état en 2018.

4.2 Conclusions plancton de crustacées

Les analyses du plancton de crustacées effectuées sur une longue durée documentent leur développement dans les 5 lacs. En règle générale, les changements observés sont plutôt discrets et ne concernent souvent que certaines espèces et moins la population totale ou la distribution des principaux groupes. Deux évolutions très intéressantes sont cependant apparues durant la période d'étude allant de 2008 à 2018.

La première est **l'évolution des daphnies dans le lac de Brienz**. Après une disparition presque totale des daphnies en 1999, année marquée par un hiver riche en avalanches et de fortes crues en mai, la génération estivale manquait les années suivantes. En 2008, ces puces d'eau avaient presque complètement disparu. Ce n'est qu'à l'automne 2013 qu'une régénération durable de la population s'est manifestée - à l'exception d'une perturbation lors de l'été 2015 suite à la purge du lac de barrage de Räterichsboden dans la région du Grimsel. Il est intéressant de noter que c'est précisément durant cette période sans daphnies que la *Diaphanosoma brachyurum* a développé de grandes populations dans la zone pélagique du lac de Brienz, qui ont à nouveau rétréci à mesure que les daphnies se sont rétablies. Les deux espèces sont-elles vraiment en concurrence dans la zone pélagique ?

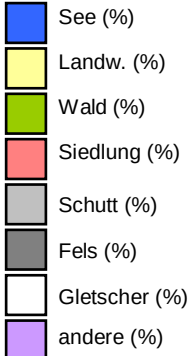
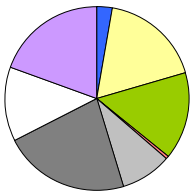
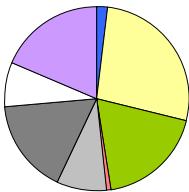
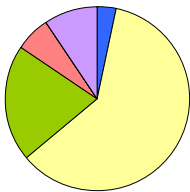
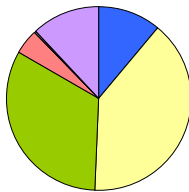
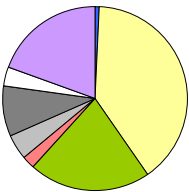
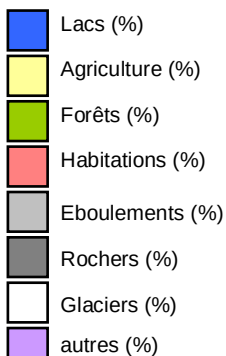
La deuxième est la nouvelle apparition et la forte croissance qui s'en est suivie du petit ***Thermocyclops crassus*** à partir de 2006 dans le lac de Biemme et dès 2011 dans le lac de Morat. Les densités de population les plus élevées ont été observées lors de l'été 2018 particulièrement chaud (Abb. 44). Selon la littérature spécialisée, les températures privilégiées du *Thermocyclops crassus* se situent entre 25 et 30 degrés Celsius avec une plage de température normale allant de 21 à 32°C. Cette évolution indique que la hausse des températures de l'eau causée par les changements climatiques favorise l'immigration et la propagation d'espèces thermophiles dans nos eaux.

De manière générale, les copépodes, notamment les Calanoida et les Cyclopidae, forment les groupes de plancton de crustacées les plus importants dans les **lacs de Brienz** et de **Thoune**, dans lesquels ils prédominent clairement en terme de nombre. En été et en automne, la proportion de daphnies atteint cependant également des valeurs élevées. L'évolution dans le temps n'est généralement que peu variable. Dans le lac de Brienz, la population globale a légèrement diminué jusqu'en 2006 et tend à augmenter à nouveau depuis lors. Le lac de Thoune présente dans l'ensemble une tendance légèrement décroissante et guère plus de forts développements de masse de certains groupes en été après 2013.

Dans les **lacs subjurassiens**, le plancton de crustacées présente une toute autre composition. De nombreuses autres espèces viennent s'ajouter à celles connues dans l'Oberland. Bien que les Calanoida soient représentés par les mêmes espèces et présents en quantités similaires, les Cyclopidae ont une importance beaucoup plus grande dans le Seeland. Une évolution similaire peut être observée pour les phyllopoques, dont les populations de daphnies et de Bosminidae signalent également une diminution de la charge en éléments nutritifs dans le lac.

Dans le **lac de Biemme**, l'abondance globale ne présente pas de tendance décroissante, mais de nombreux taxons et groupes sont en nette diminution. Il s'agit cependant en particulier de taxons privilégiant des eaux eutrophes. Ceci est compensé par une nette augmentation d'*Eudiaptomus gracilis* ces dernières années. Dans le **lac de Neuchâtel**, presque aucun changement ne peut être constaté, hormis des fluctuations à court terme des populations. Le plus marquant est la diminution des Bosminidae. Les changements les plus évidents peuvent être observés dans le **lac de Morat**. La diminution de nombreux taxons également fréquents ne peut pas être compensée par l'augmentation de *Thermocyclops crassus*, de sorte que l'abondance globale y diminue également.

5 Kenndaten der Seen / Données caractéristiques des lacs

	Brienzersee BRZ	Thunersee THU	Lac de Morat MUR	Lac de Neuchâtel NEU	Bielersee BIE	
Höhe des Seespiegels [m.ü.M.]	564	558	429	429	429	Niveau du lac [m s. m.]
Seefläche [km ²]	29.8	47.7	22.7	214.97	37.8	Surface de l'eau [km ²]
Maximale Seetiefe [m]	259	217	45	153	74	Profondeur maximale [m]
Mittlere Seetiefe [m]	172	136	23	64	29	Profondeur moyenne [m]
Volumen [10 ⁹ m ³]	5.15	6.42	0.531	13.9	1.12	Volume [10 ⁹ m ³]
Therotische mittlere Wassererneuerungszeit [Jahre]	2.7	1.9	1.54	8.2	54 Tage/jours	Temps théorique moyen de renouvellement de l'eau [années]
Einzugsgebietsfläche (EZG) [km ²]	1'134	2451	697	1941	1987	Surface du bassin versant (BV) [km ²]
Aufsummierte Einzugsgebietsfläche [km ²]	1'134	3'585	697	2'638	8'210	Somme des sous-bassins [km ²]
Anzahl ARAs im EzG	11	9	40	97	62	Nombre de STEP dans le BV
Anzahl direkt einleitende ARAs	5	3	2	13	5	Nombre de STEP déversant directement
Anzahl angeschlossene Einwohner	19'900	45'700	73'500	211'330	582'000	Nombre d'habitants raccordés
Nutzung des EzG 					 ohne/sans MUR, NEU	Utilisation BV 

Quellen / sources: Liechti (1994), GBL (2003), www.die3seen.ch/www.les3lacs.ch

6 Chemische Untersuchungen / Analyses chimiques

Zusätzlich zu den Untersuchungen des Planktons wurden monatliche Profile mit einer Multiparametersonde (Seabird SBE-19) gefahren und zusätzlich mindestens während der Winterzirkulation (Februar) und am Ende der Sommerstagnation (Oktober) verschiedene chemische Parameter analysiert. Hier spielen vor allem Sauerstoff, Phosphor, Stickstoffverbindungen sowie Chlorid als Indikatoren für eine anthropogene Belastung eine wichtige Rolle.

Temperatur, Sauerstoff

Die hochaufgelösten Profildaten von Temperatur und Sauerstoff (und Fluoreszenz) erlauben Aussagen über die Produktions- und Abbauverhältnisse von Biomasse sowie die Zirkulationsvorgänge der Seen. Brienzer- und Thunersee zirkulieren auf Grund ihrer grossen Tiefe nicht jedes Jahr vollständig und sind meromiktisch während der ebenfalls tiefe Neuenburgersee jährlich einmal vollständig durchmischt und als holomiktisch bzw. warm-monomiktisch bezeichnet wird. Im Murten- und Bielersee fallen die Sauerstoffkonzentrationen im Hypolimnion (im Bielersee nur im tiefen Hypolimnion) in der zweiten Jahreshälfte regelmässig unter die gesetzlich vorgeschriebenen 4 mg pro Liter. Beide Seen zirkulieren jedes Jahr vollständig und sind dimiktisch. Detaillierte Tiefenprofile werden monatlich im Internet publiziert (www.die3seen.ch, www.les3lacs.ch, www.be.ch/geoportal > Karten > Gewässerqualität).

Phosphor und Stickstoff

Mit dem Verbot von Phosphat in Waschmitteln im Jahre 1986 hat der P-Eintrag in die Gewässer stark abgenommen. Durch den Bau von Kläranlagen und anderen Fortschritten in der Siedlungsentwässerung sowie Optimierungsprozesse in der landwirtschaftlichen Düngepraxis sind die P-Konzentrationen weiter zurückgegangen. Da Phosphor als Minimumfaktor das Algenwachstum beschränkt, hat dieser Rückgang auch Auswirkungen auf die Primärproduktion.

Stickstoffverbindungen kommen in verschiedenen Oxidationsstufen vor (Ammonium, Nitrit, Nitrat), sind in Wasser leicht löslich und unterliegen einem natürlichen Kreislauf (Nitrifikation, Denitrifikation). Cyanobakterien können elementaren Stickstoff fixieren, anderen Phytoplanktongruppen fehlt diese Möglichkeit. Diese beziehen die Stickstoffverbindungen aus terrestrischen Quellen oder seeinternen Kreisläufen.

Chlorid

Chlorid nimmt weder an natürlichen Prozessen noch an chemischen Reaktionen im See teil und hat damit keinen direkten Zusammenhang mit dem Planktonwachstum. Als anthropogen häufig eingesetzte Substanz ist die langfristige Entwicklung der Chloridkonzentration in den Seen jedoch ein guter Indikator für die anthropogene Belastung des Ökosystems.

Andere Substanzen

Verschiedene andere Stoffe wie DOC, TOC, Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Silizium, Eisen, Schwermetalle, Pestizide und andere Mikroverunreinigungen werden in regelmässigen oder unregelmässigen Intervallen ebenfalls analysiert, in dieser Arbeit aber nicht weiter berücksichtigt.

Analyses chimiques

En complément des analyses du plancton, des profils mensuels ont été réalisés par une sonde multiparamètre Seabird SBE-19 et différents paramètres chimiques analysés au moins pendant la période de circulation hivernale (février) et à la fin de la période de stagnation estivale (octobre). Ce sont avant tout l'oxygène, le phosphore et les composés azotés, ainsi que les chlorures en tant qu'indicateurs de la charge anthropogène qui jouent un rôle important.

Température, oxygène

Les données de haute résolution des profils de température et d'oxygène (et de fluorescence) permettent l'interprétation des processus de circulation de l'eau des lacs ainsi que de production et de décomposition de la biomasse. A cause de leur grande profondeur, les lacs de Brienz et de Thoune ne circulent pas complètement chaque année et sont méromictiques, alors que le lac de Neuchâtel, également profond, circule chaque année complètement et est considéré comme holomictique ou monomictique chaud. Dans les lacs de Morat et de Bienne, les concentrations en oxygène dans l'hypolimnion chutent régulièrement en dessous de la limite légale de 4 mg par litre durant la deuxième moitié de l'année (uniquement dans l'hypolimnion profond dans le lac de Bienne). Les deux lacs circulent complètement chaque année et sont dimictiques. Les profils de profondeur détaillés sont publiés chaque mois sur internet (www.les3lacs.ch, www.die3seen.ch, www.be.ch/geoportail > Cartes > Qualité des eaux).

Phosphore et Azote

Avec l'interdiction du phosphore dans les produits de lessive en 1986, l'apport en phosphore dans les eaux a fortement diminué. La construction de stations d'épuration et d'autres progrès dans l'évacuation des eaux urbaines ainsi que l'optimisation des pratiques de fertilisation dans l'agriculture ont également contribué à la baisse de la concentration en phosphore. Puisque le phosphore est l'élément limitant la croissance des algues, cette baisse a des répercussions sur la production primaire.

Les composés azotés, présents sous différents stades d'oxydation (ammonium, nitrite, nitrate), sont très solubles dans l'eau et sont soumis au cycle naturel de transformation (nitrification, dénitrification). Les cyanobactéries sont capables de fixer l'azote élémentaire, faculté qui manque à d'autres groupes de phytoplancton. Ceux-ci couvrent leur besoin en composés azotés grâce aux sources terrestres ou aux cycles internes du lac.

Chlorures

Les chlorures ne participent ni aux processus naturels, ni aux réactions chimiques dans le lac et n'ont de ce fait aucun lien direct avec la croissance du plancton. Néanmoins, en tant que substance chimique largement utilisée, l'évolution de leur concentration dans le lac représente un bon indicateur de la charge anthropogène pesant sur l'écosystème.

Autres substances

De nombreuses autres substances comme le DOC, le TOC, le calcium, le potassium, le magnésium, le sodium, la silice, le fer, des métaux lourds, des pesticides et d'autres micropolluants sont également analysés régulièrement ou selon besoin, mais ne sont pas pris en considération dans ce rapport.

6.1 Brienzersee

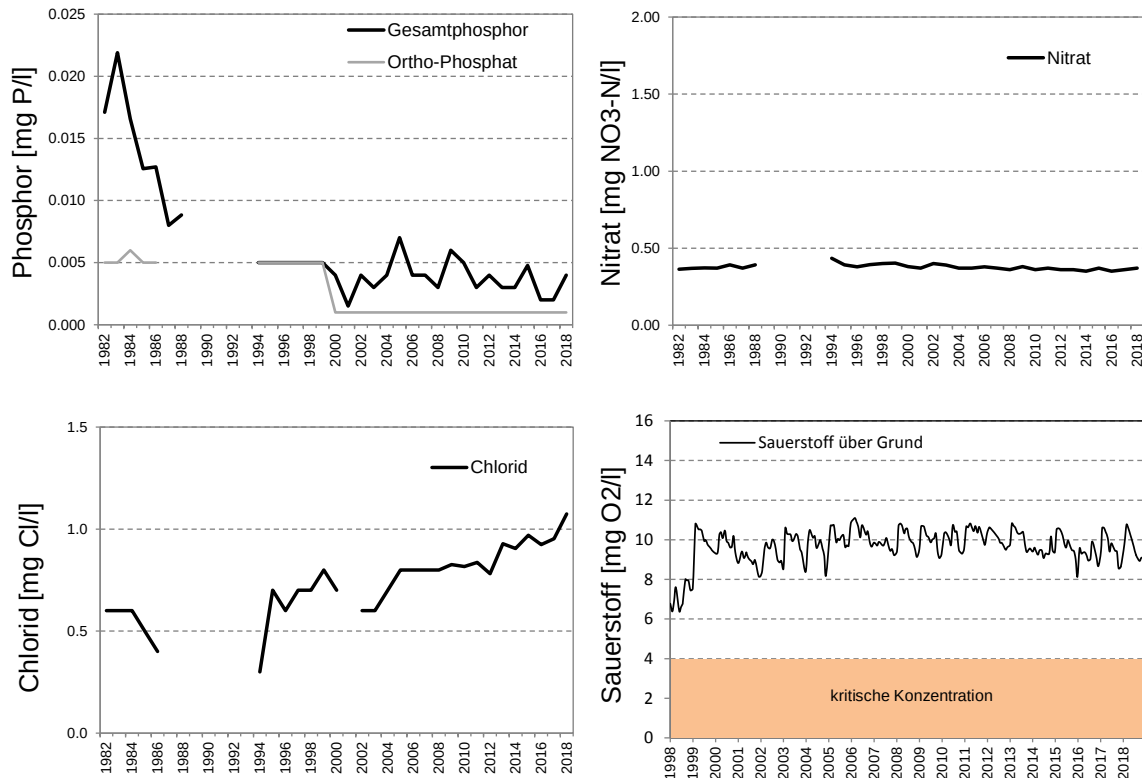


Abb. 5 Mittelwerte der jährlich am Ende der Zirkulationsphase im Februar gemessenen Nährstoff- und Chloridgehalte und monatlich in situ (251-254 m) gemessene Sauerstoffwerte.

Phosphor

Im ultra-oligotrophen Brienzersee sind die Konzentrationen von Ortho-Phosphat und Gesamtphosphor, nach einem vorübergehenden Anstieg in den 1970er- und 80er-Jahren, gering. Die Ortho-Phosphatwerte liegen im Bereich der Nachweisgrenze. Der karge Alpenrandsee hat bezüglich Phosphor wieder einen naturnahen Zustand erreicht.

Stickstoff

Die Nitratkonzentrationen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten fast nicht verändert. Die Werte sind tief und widerspiegeln das weitgehende natürliche Einzugsgebiet bzw. die geringe, extensive landwirtschaftliche Nutzung.

Chlorid

Die Chloridkonzentrationen haben sich seit den 1990er-Jahren fast verdoppelt. Die generelle Zunahme der Siedlungs-, Verkehrs- und Industrienutzung im Einzugsgebiet dürften dafür verantwortlich sein.

Sauerstoff

Die Sauerstoffwerte über dem Seegrund sind seit Jahren sehr gut und entsprechen den Vorgaben der GSchV.

6.2 Thunersee

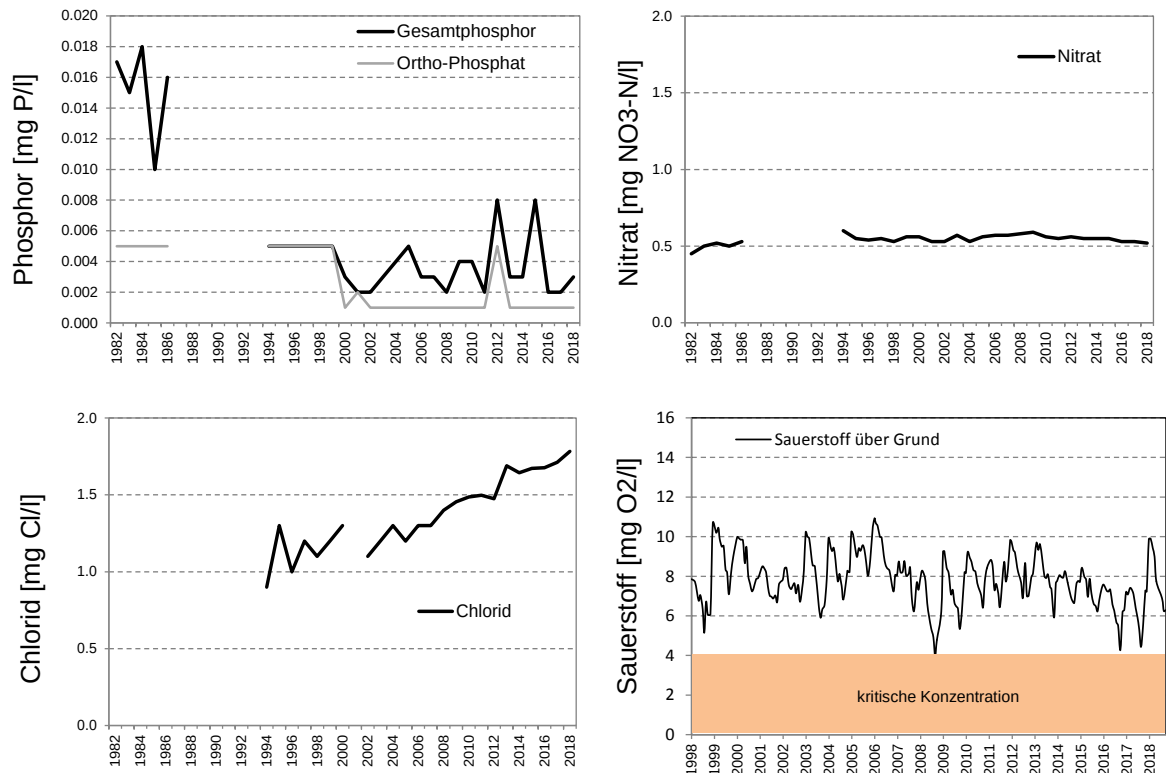


Abb. 6 Mittelwerte der jährlich am Ende der Zirkulationsphase im Februar gemessenen Nährstoff- und Chloridgehalte und monatlich in situ (210-212 m) gemessene Sauerstoffwerte.

Phosphor

Die Konzentration von Gesamtphosphor ist seit den 1990er-Jahren niedrig. Ortho-phosphat liegt seit einigen Jahren im Bereich der Nachweisgrenze.

Stickstoff

Die Nitratwerte im Thunersee sind gringfügig höher als im Brienersee und deutlich tiefer als im Bielersee. Das Qualitätsziel von 5.6 mg NO₃-N/l, das im Hinblick auf die potentielle Verwendung des Seewassers zu Trinkwasserzwecken zum Tragen kommt, ist problemlos eingehalten.

Chlorid

Die Werte sind gegenüber dem Brienersee etwas höher und zeigen ebenfalls eine kontinuierliche Zunahme über die letzten Jahre. Eintragsquellen sind primär Kläranlagen und Streusalzeinsatz im Winter.

Sauerstoff

Die Sauerstoffwerte über Grund widerspiegeln die saisonale Dynamik. Die in der GSchV formulierte Anforderung von 4 mg O₂/l wird immer eingehalten.

6.3 Bielersee

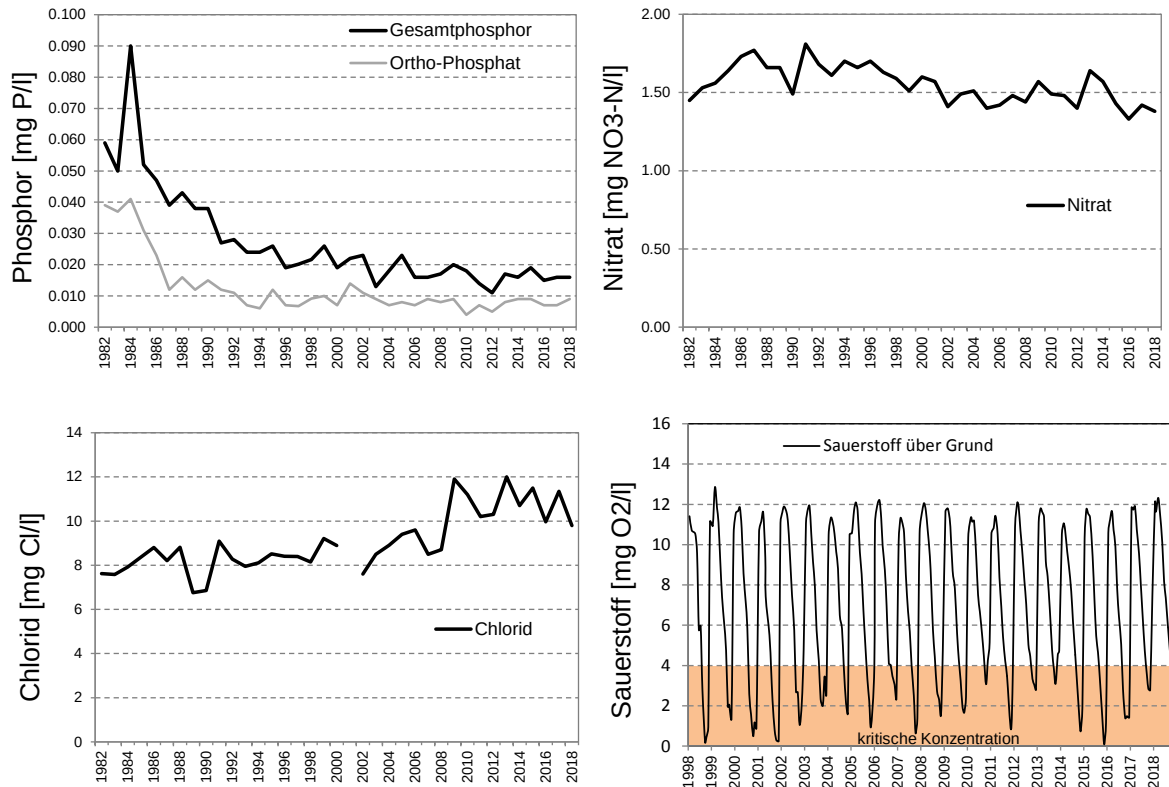


Abb. 7 Mittelwerte der jährlich am Ende der Zirkulationsphase im Februar gemessenen Nährstoff- und Chloridgehalte und monatlich in situ (70-71 m) gemessene Sauerstoffwerte.

Phosphor

Nach den hohen Werten in den 1980er-Jahren haben die Konzentrationen von Gesamtposphor und Ortho-Phosphat kontinuierlich abgenommen und schwanken heute auf einem vergleichsweise tiefen Niveau. Die Phosphorfrachten der Zuflüsse reichen allerdings immer noch für eine Primärproduktion aus, welche negative Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung des Hypolimnions hat (siehe unten).

Stickstoff

Nach einem vorübergehenden Anstieg in den 1980er- und 90er-Jahren haben die Nitratkonzentrationen leicht abgenommen und liegen wieder unterhalb von 1.5 mg NO₃-N/l. Die Werte liegen weit unter dem Qualitätsziel, welches im Hinblick auf die Verwendung des Seewassers zu Trinkwasserzwecken festgelegt wurde.

Chlorid

Die intensivere Nutzung im viel grösseren Einzugsgebiet dieses Jurarandsees im Vergleich zu den beiden Oberländer Seen widerspiegelt sich in den höheren Chlorid-Konzentrationen.

Sauerstoff

Beim Sauerstoff nimmt der Bielersee eine intermediäre Position zwischen Murten- und Neuenburgersee ein. Die gemessenen Werte widerspiegeln ebenfalls die saisonale Dynamik der Primärproduktion. Sättigung Ende Winter nach einer Vollzirkulation und kontinuierliche Abnahme bis zum Ende der Stagnationsphase im Herbst. Die Anforderung der GSchV von 4 mg/l wird immer noch jedes Jahr nicht eingehalten, wobei sich jedoch eine positive Tendenz zur Verbesserung der Verhältnisse im Hypolimnion zeigt.

6.4 Neuenburgersee

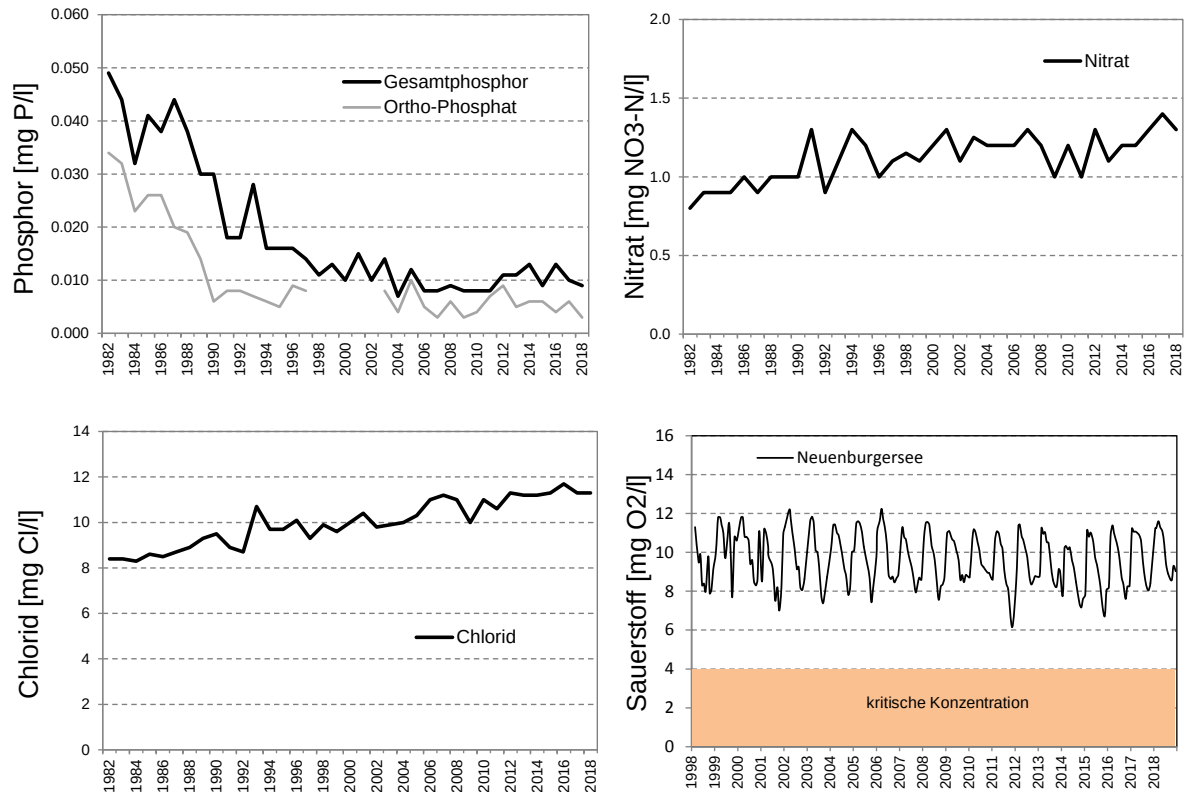


Abb. 8 Mittelwerte der jährlich am Ende der Zirkulationsphase im Februar gemessenen Nährstoff- und Chloridgehalte und monatlich in situ (148 m) gemessene Sauerstoffwerte.

Phosphor

Der Gehalt an Gesamtposphor und Ortho-Phosphat hat seit 1982 stetig abgenommen. Seit den 2000er-Jahren bewegen sich die Konzentrationen in Wertebereichen, die etwa halb so gross wie im Bielersee sind.

Stickstoff

Der Konzentrationen von Nitratstickstoff steigen tendenziell leicht an. Ein deutliches Zeichen für den anthropogenen Druck, der auf dem Ökosystem lastet.

Chlorid

Ebenfalls beim Chlorid ist eine leichte, kontinuierliche Zunahme festzustellen. Verglichen mit den in den 1950er-Jahren gemessenen Werten (Sollberger 1974), ist dies eine Verdreifachung der Konzentrationen.

Sauerstoff

Die gemessenen Werte widerspiegeln die saisonale Entwicklung: Sättigung Ende Winter und kontinuierliche Abnahme bis zur nächsten Winterzirkulation. Die Sauerstoffversorgung über Grund ist aber ausgezeichnet. Die Anforderung von mindestens 4 mg/l wurde nie unterschritten.

6.5 Lac de Neuchâtel

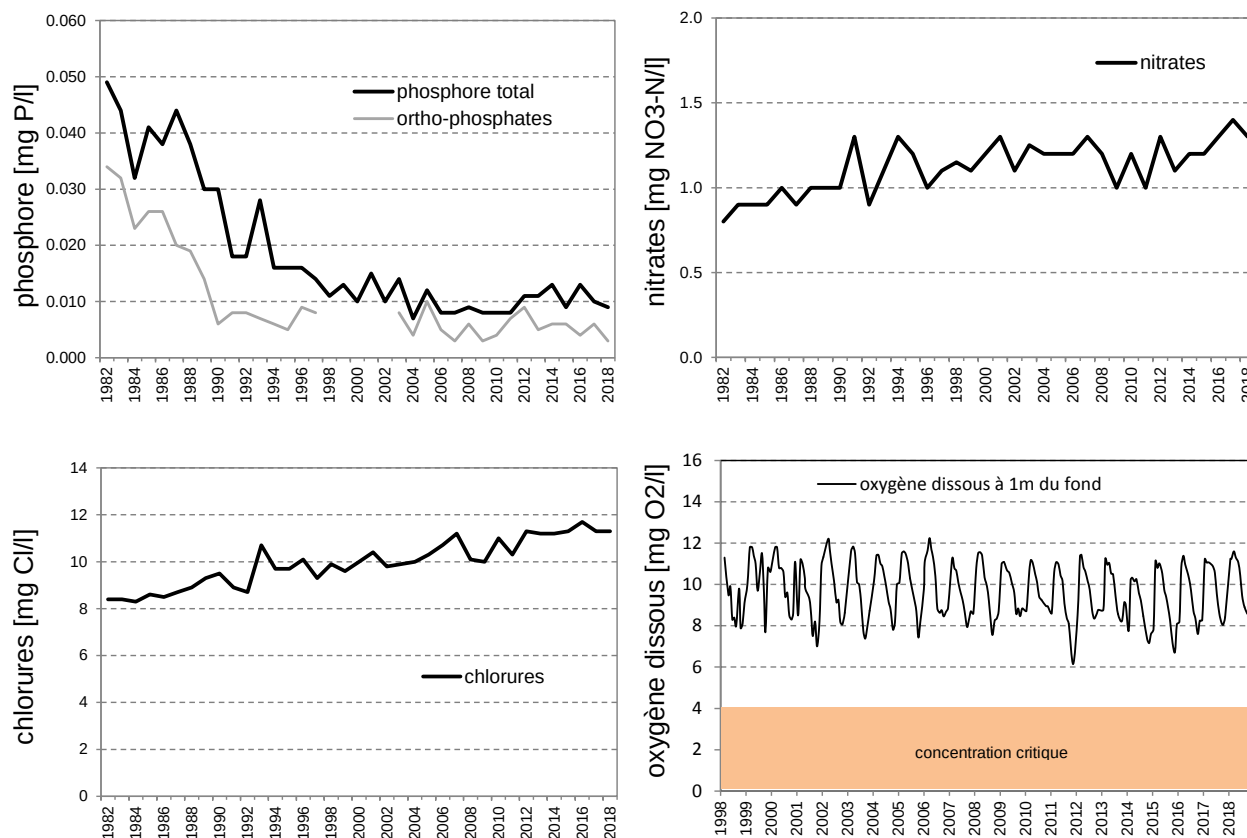


Abb. 9 Moyennes mensuelles pondérées à la fin de la période de circulation pour le phosphore, les nitrates et les chlorures, concentrations mensuelles en oxygène dissous mesurées à 148 m.

Phosphore

La teneur en phosphore total et en ortho-phosphate a continuellement diminué depuis 1982. Depuis les années 2000, les concentrations présentent des valeurs environ deux fois inférieures à celles du lac de Bienne.

Azote

Les concentrations en nitrate tendent à augmenter légèrement. Un signal clair de la charge anthropogène pesant sur l'écosystème.

Chlorures

Pour les chlorures également, une légère et constante augmentation est observée. Les concentrations actuelles présentent des valeurs trois fois supérieures à celles mesurées dans les années 1950 (Sollberger 1974).

Oxygène dissous

Les valeurs mesurées reflètent l'évolution saisonnière : saturation à la fin de l'hiver et diminution progressive jusqu'à la circulation hivernale suivante. L'alimentation en oxygène au fond du lac est cependant excellente. L'exigence minimale de 4 mg/l n'a jamais été enfreinte.

6.6 Murtensee

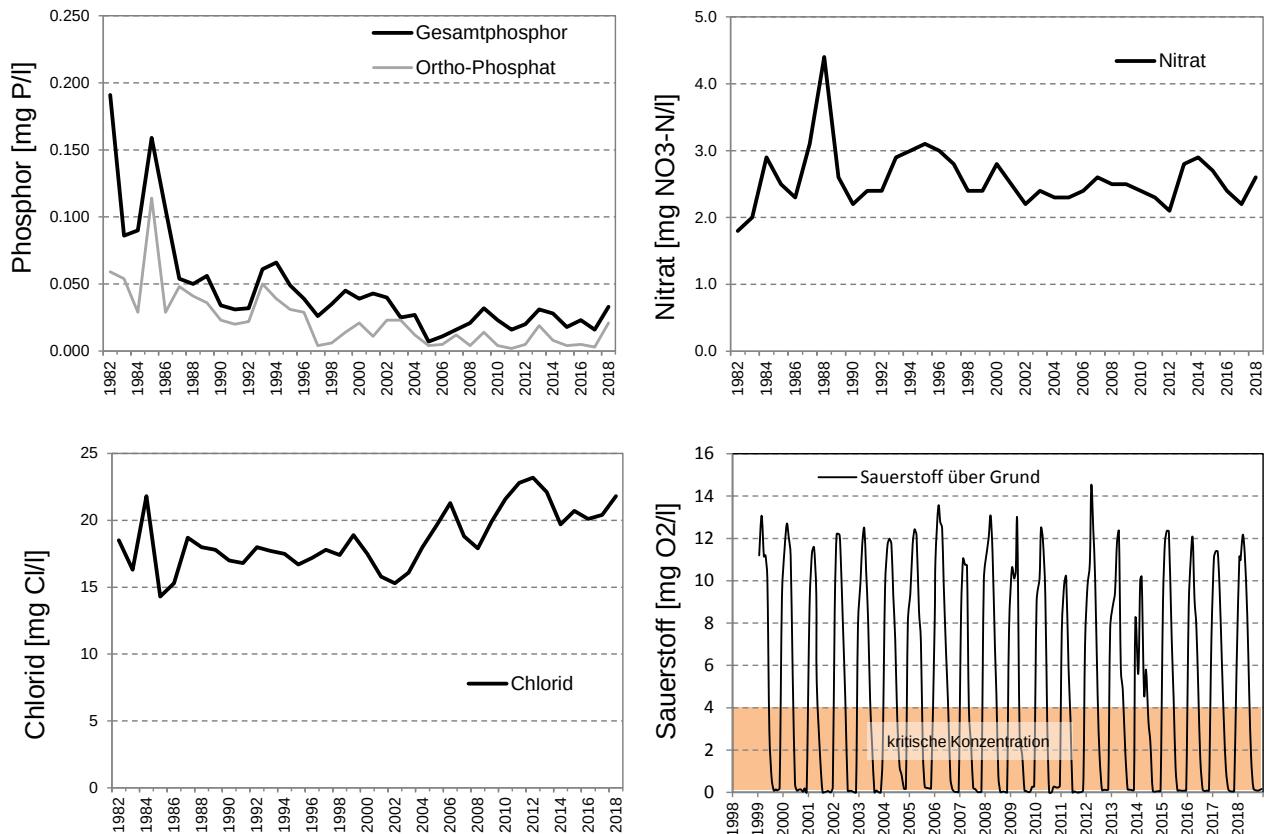


Abb. 10 Mittewerte der jährlich am Ende der Zirkulationsphase im Februar gemessenen Nährstoff- und Chloridgehalte und monatlich in situ (43 m) gemessene Sauerstoffwerte.

Phosphor

Der Murtensee weist die höchsten Phosphorkonzentrationen aller 5 untersuchten Seen auf. Nachdem das Phosphatverbot 1986 auch im Murtensee zu einer drastischen Abnahme der P-Konzentrationen geführt hat, schwankten die Werte in den letzten Jahren stark zwischen 16-33 mg/l Gesamtposphor und 2-19 mg/l Ortho-Phosphat.

Stickstoff

Die Nitratwerte schwanken zwischen 2 und 3 mg NO₃-N/l und sind damit ebenfalls die höchsten von allen 5 Seen. Im Hinblick auf die Verwendung des Seewassers zu Trinkwasserzwecken liegen die Konzentrationen jedoch unterhalb des Qualitätsziels von 5.6 mg/l.

Chlorid

Stetig zunehmende Konzentrationen widerspiegeln beim Chlorid den zunehmenden anthropogenen Druck im Einzugsgebiet.

Sauerstoff

Am Seegrund manifestiert sich die hohe saisonale Dynamik des gelösten Sauerstoffs - von Sauerstoffübersättigung im Frühling bis zu anaeroben Verhältnissen im Herbst. Ab Mai oder Juni wird die gesetzliche Mindestanforderung von 4 mg/l regelmässig bis zur Vollzirkulation im Winter unterschritten.

6.7 Lac de Morat

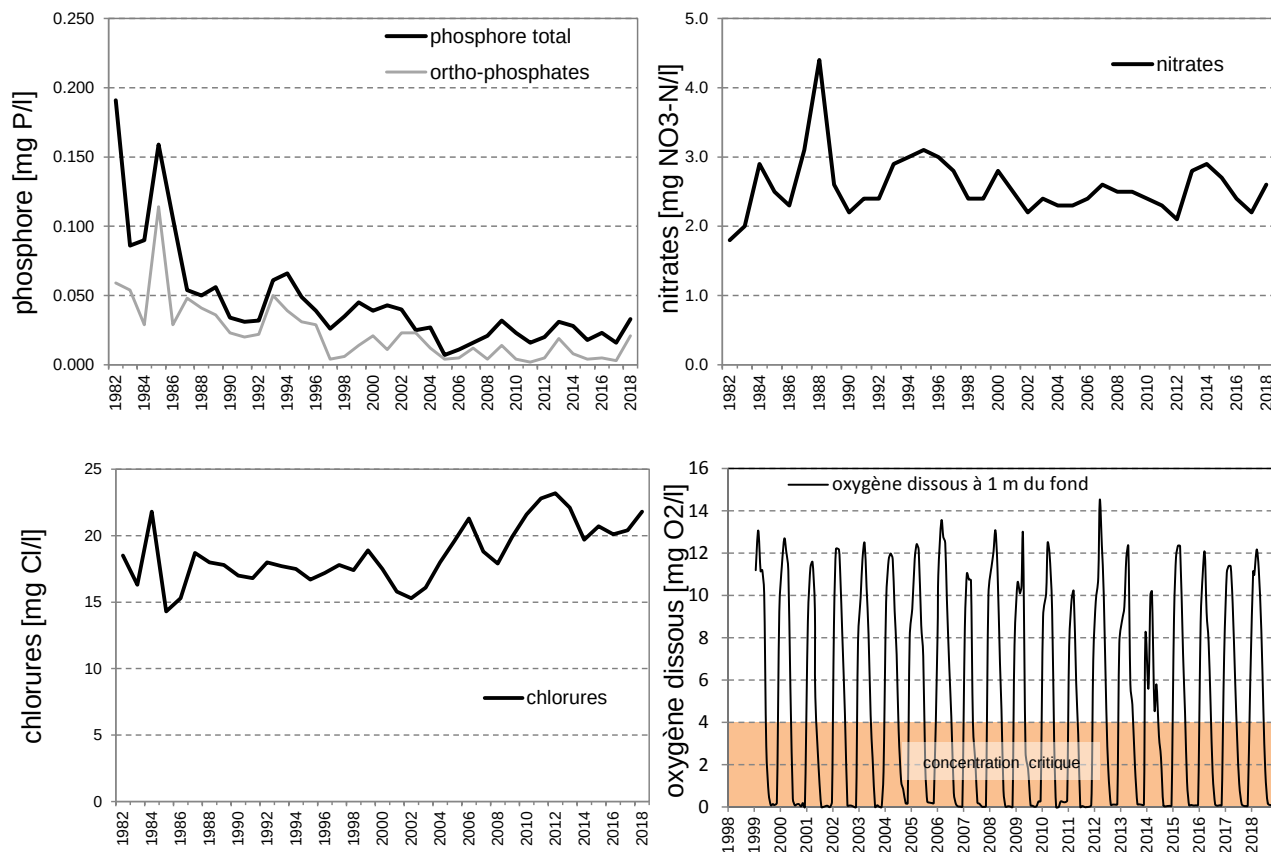


Abb. 11 Moyennes et mensuelles pondérées à la fin de la période de circulation pour le phosphore, les nitrates et les chlorures, concentrations mensuelles en oxygène dissous mesurées à 43 m.

Phosphore

Le lac de Morat présente les concentrations de phosphore les plus élevées parmi les 5 lacs analysés. Après que l'interdiction du phosphate en 1986 a conduit à une diminution drastique des concentrations de phosphore également dans le lac de Morat, les valeurs ont fortement fluctué ces dernières années entre 16-33 mg/l de phosphore total et 2-19 mg/l d'ortho-phosphate.

Azote

Les valeurs de nitrate oscillent entre 2 et 3 mg NO₃-N/l et sont donc également les plus élevées parmi les 5 lacs. En ce qui concerne l'utilisation de l'eau du lac comme eau potable, les concentrations sont cependant inférieures à l'objectif de qualité de 5.6 mg/l.

Chlorures

Des concentrations de chlorures en constante augmentation reflètent la charge anthropogène croissante dans le bassin versant.

Oxygène dissous

Sur le fond du lac se manifeste l'importante dynamique saisonnière de l'oxygène dissous - de la saturation en oxygène au printemps aux conditions anaérobies en automne. A partir de mai ou juin, les conditions chutent régulièrement en-dessous de l'exigence minimale légale de 4 mg/l jusqu'à la circulation complète en hiver.

7 Phytoplankton

7.1 Charakterisierung des Phytoplanktons

Die Summe aller photosynthetisch aktiven Organismen, die ihr Leben teilweise oder vollständig im Freiwasser verbringen, bildet das Phytoplankton. Deshalb wird auch die Gruppe der Blaualgen (*Cyanophyceae* auch Cyanobakterien oder *Cyanophyta*) berücksichtigt. Ebenso werden die kleinsten Organismen im Mikrometerbereich dazugezählt (*Bacteriophyta*). Kleine, einzellige Algen, Cyanobakterien und andere kleine Mikroorganismen dieser Grössenordnung können bei der Zählung nicht sauber getrennt werden und werden als μ -Zellen aufgeführt.

Die Algen werden vor allem wegen ihrer Farbe aufgrund ihrer diversen Pigmente - vorzugsweise Chlorophylle - verschiedenen Gruppen zugeordnet. Die weitere Unterteilung in den verschiedenen Algengruppen ändert aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse immer wieder. In diesem Bericht werden die Algengruppen der früheren Berichte wegen der leichteren Vergleichbarkeit beibehalten.

Algengruppen	
Cyanophyceae	
Chrysophyceae	
Bacillariophyceae	
Haptophyceae	
Dinophyceae	
Cryptophyceae	
Chlorophyceae	
Diverse	Bacteriophyta
	Conjugatophyceae
	Prasinophyceae
	Euglenophyceae
	Xanthophyceae

7.2 Datengrundlagen Phytoplankton

Für den vorliegenden Bericht wurden folgende Daten ausgewertet (Tab. 1):

Tab. 1 Datenherkunft

Code	See	Periode	Proben- frequenz	Probe- nahme- tiefe [m]	Flaschen- züge	Volumen / Flaschenzug [L]	Total Mischproben- volumen [L]	daraus konserviert: Lugol nach Utermöhl Lugol nach Vollenweider	Bearbeitung
BRZ	Brienzersee	1994 - 2011 2012 -	1x/Monat	0 - 20 0 - 40	4	1.2	4.8	je 1 Glasflasche [100 ml]	GBL, Bern, D. Zbären: bis März 2004 K. Guthruf: ab April 2004
THU	Thunersee	1996 - 2011 2012 -	1x/Monat	0 - 20 0 - 40	4	1.2	4.8	je 1 Glasflasche [100 ml]	GBL, Bern, D. Zbären: bis März 2004 K. Guthruf: ab April 2004
BIE	Bielersee	1994 - 1998 1999 - 2011 2012 -	1x/Monat	0 - 10 0 - 15 0 - 20	4	0.8	3.2	je 1 Glasflasche [100 ml]	GBL, Bern, D. Zbären: bis März 2004 K. Guthruf: ab April 2004
NEU	Neuenburgersee	1999 - 2011 2012 -	1x/Monat	0 - 20 0 - 40	4	1.2	4.8	1 Glasflasche nach Utermöhl	PhycoEco, François Straub
MUR	Murtensee	1999 -	1x/Monat	0 - 15	4	0.6	2.4	je 1 Glasflasche [100 ml]	GBL, Bern, D. Zbären: bis März 2004 K. Guthruf: ab April 2004

7.3 Vorgehen

See

Die Proben wurden jeweils an der tiefsten Stelle des Sees als Mischprobe entnommen. Bis Dezember 2011 erfolgte dies mit einer Schröderflasche. Danach wurde ein integrierender Wassers schöpfer IWS II (Hydro – Bios Apparatebau GmbH, Kiel) im Briener-, Thuner- und Neuenburgersee eingesetzt, da die Schröderflasche aufgrund ihres Baus nur bis 20 m Wassertiefe verwendet werden kann. Ab 2016 erfolgte die Probenahme auch im Bieler- und Murtensee mit dem integrierenden Wassers schöpfer, da die Schröderflasche defekt war und kein Ersatz mehr beschafft werden konnte.

Die Proben des GBL werden direkt auf dem See mit einer Lugol-Lösung nach UTERMÖHL (1958) bzw. einer Lugol-Lösung nach VOLLENWEIDER (1974) versetzt und bis zur Verarbeitung gekühlt und im Dunkeln konserviert. Die Proben des Neuenburgersees wurden mit einer Lugol-Lösung nach UTERMÖHL und für spezielle Bestimmungen zusätzlich in Formalin (4%) konserviert. Für einige Proben wurden zusätzlich Kieselalgen-Dauerpräparate hergestellt.

Aus einem Teil des restlichen Mischprobenvolumens wurde zudem der Gehalt an Chlorophyll a bestimmt.

Labor

Aufgrund einer Abundanzschätzung in einer zusätzlichen Frischprobe jedes Sees wurde das Sedimentationsvolumen zur Bestimmung und Zählung festgelegt (10 ml, 25 ml oder 50 ml). Die Bestimmung und Auszählung erfolgte mit Umkehrmikroskopen (ZEISS Axiovert 125). Es wurden unterschiedliche Anzahl Gesichtsfelder pro Vergrößerung ausgezählt:

Vergrößerung	100 x	200 x	400 x	1000 x
Anzahl gezählte Gesichtsfelder	40	40 wenn 50ml, 20, wenn nur 25 oder 10 ml absedimentiert wurden.	20	10

Alle Daten wurden am GBL Bern in einer Plankton-Datenbank bewirtschaftet, welche auch den Kantonen NE, FR und VD zur Verfügung steht.

Von allen 5 Seen existieren einzelne Datensätze früherer Jahre. Diese wurden für den vorliegenden Bericht aus unterschiedlichen Gründen nicht beigezogen:

- Probenahmestelle unbekannt oder nicht identisch mit heute (z.B. Seeausfluss)
- Netzproben statt Mischproben mit Schöpfflasche
- Auszählmethode nicht im Detail bekannt.
- Daten nicht in digitaler Form vorhanden
- Taxaliste nicht oder ungenügend vergleichbar mit der aktuellen Liste.

7.4 Literatur

- MATHES, J., PLAMBECK, G. & SCHAUMBURG, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Nixdorf, B. & Deneke, R. (Hrsg.), Ansätze und Probleme bei der Umsetzung der EU- Wasserrahmenrichtlinie. Aktuelle Reihe BTU Cottbus, Sonderband: 15-24.
- MISCHKE, U., RIEDMÜLLER, U., HOEHN, E., NIXDORF, B. (2017): Handbuch Phyto-See-Index - Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen mittels Phytoplankton. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall", Stand 15. Dezember 2017. 86 S.
- MISCHKE ET AL (2014): PhytoSee 5.1 vom 02.01.2014 Taxaliste mit obligat heterotrophen Algen

- RIEDMÜLLER, U., MISCHKE, U., POTTGIESSER, T., BÖHMER, J., DENEKE, R., RITTERBUSCH, D. STELZER, D. & HOEHN, E. (2013): Steckbriefe der deutschen Seetypen. Begleittext und Steckbriefe. Auftraggeber: Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, 06813 Dessau.
- Utermöhl, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. - Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie 9: 1 - 38.
- VOLLENWEIDER, R.A. (ED) (1974): a Manual on methods for Measuring Primary Production in aquatic Environments. - IBP Handbook No. 12, 2. Ausgabe.

Bestimmungsliteratur

- Süßwasserflora von Mitteleuropa, begründet von A. Pascher (seit 1978): Spektrum akademischer Verlag, diverse Bände.
- BELLINGER, E.G., SIEGEE, D.C. (2010): Freshwater Algae and Use as Bioindicators
- COX, E., J. (1996): Identification of Freshwater Diatoms from Live Material. - Chapman & Hall, London: 158. S.
- JOHN, D., M., WHITTON, B., A., BROOK, A., J. (EDS), (2011): The freshwater algal flora of the British Isles: an identification guide to freshwater and terrestrial algae, 2. Auflage: 878 S.
- STREBLE, H., KRAUTER, D., BÄUERLE, A. (2017): Das Leben im Wassertropfen, 13. überarbeitete Auflage. Franckh-Kosmos-Verlags GmbH & Co. KG, Stuttgart: 398 S.

7.5 Anpassungen der Probenahmetiefen in den letzten 25 Jahren.

Der allgemeine Rückgang der Phosphorkonzentrationen kann Auswirkungen auf die Primärproduktion in den Seen haben. Die Algenbiomasse nimmt ab, die Taxazusammensetzung verändert sich, die euphotische Tiefe (theoretische Grenztiefe, wo noch eine positive Photosynthesebilanz der Algen möglich ist) nimmt zu. Der Lebensraum für das Phytoplankton dehnt sich damit in tiefere Wasserschichten aus. Selbst in grösseren Tiefen können Schwachlichtalgen noch Photosynthese betreiben.

Zur Untersuchung des Phytoplanktons in Klarwasserseen (Mischke, 2018, Seite. 5) werden Mischproben aus der euphotischen Tiefe entnommen. Die dabei beprobte Wassersäule sollte für eine Langzeituntersuchung möglichst konstant gehalten werden. Verändert sich jedoch die euphotische Tiefe grundlegend und voraussichtlich irreversibel (mindestens für eine längere Zeitperiode), sollte die Probenahmetiefe angepasst werden. Wird die Tiefe nicht angepasst, kann zu gewissen Jahreszeiten das Phytoplankton nicht mehr repräsentativ beprobt werden.

7.5.1 Phytoplankton und Fluoreszenzdaten als Entscheidungsgrundlage

Im Thunersee wurden in den Jahren 2010 und 2011 und im Bielersee 2011 zusätzliche Phytoplanktonuntersuchungen durchgeführt, um den Einfluss der beprobten Wassersäule quantifizieren zu können. Im Thunersee wurde zusätzlich zur aktuellen Mischprobe 0-20 m noch eine Mischprobe aus 20-40 m untersucht. Im Bielersee wurde nebst der Mischprobe aus der damals normalen Beprobungstiefe von 0-15 m eine Mischprobe von 0-20 m ausgewertet. Die Resultate (Abb. 12 und Abb. 13) zeigten bei beiden Seen, dass eine Anpassung hin zu einer Ausdehnung der beprobten Wassersäule angezeigt war.

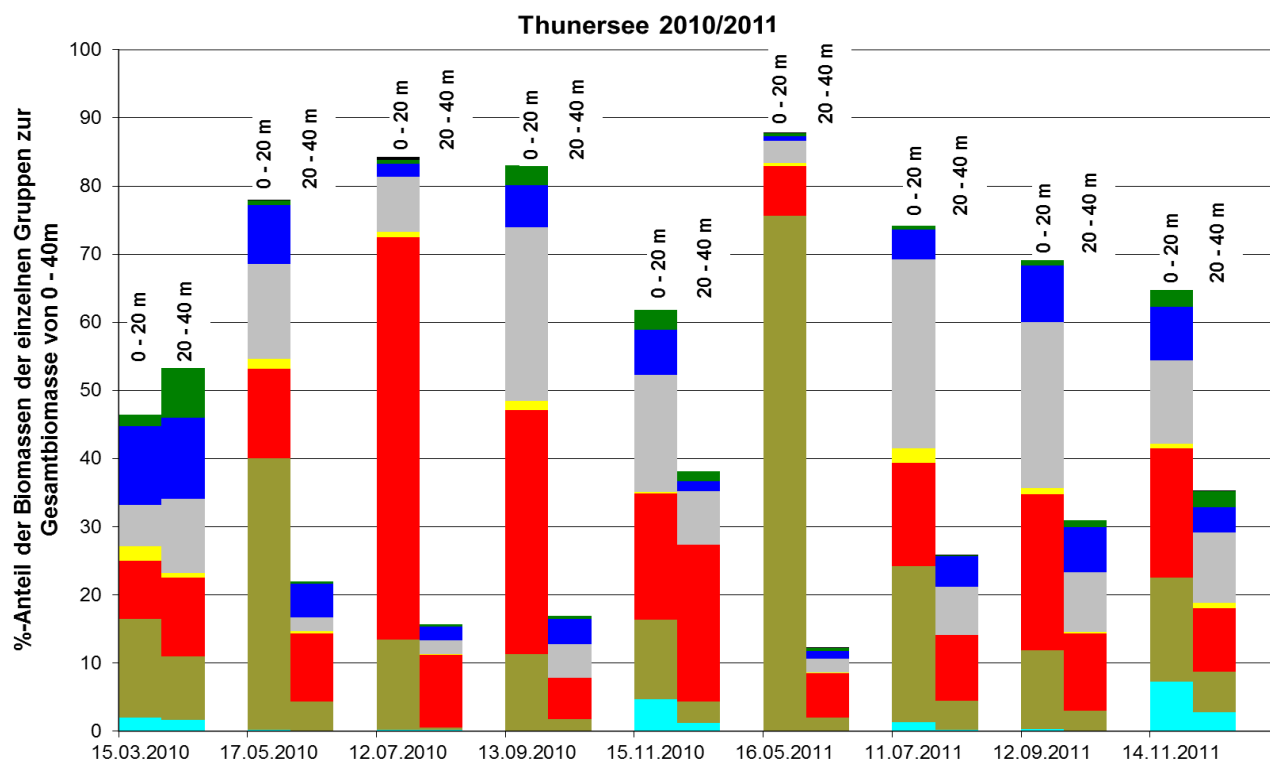


Abb. 12 Phytoplanktonverteilung in der Wassersäule im Thunersee 2010/2011

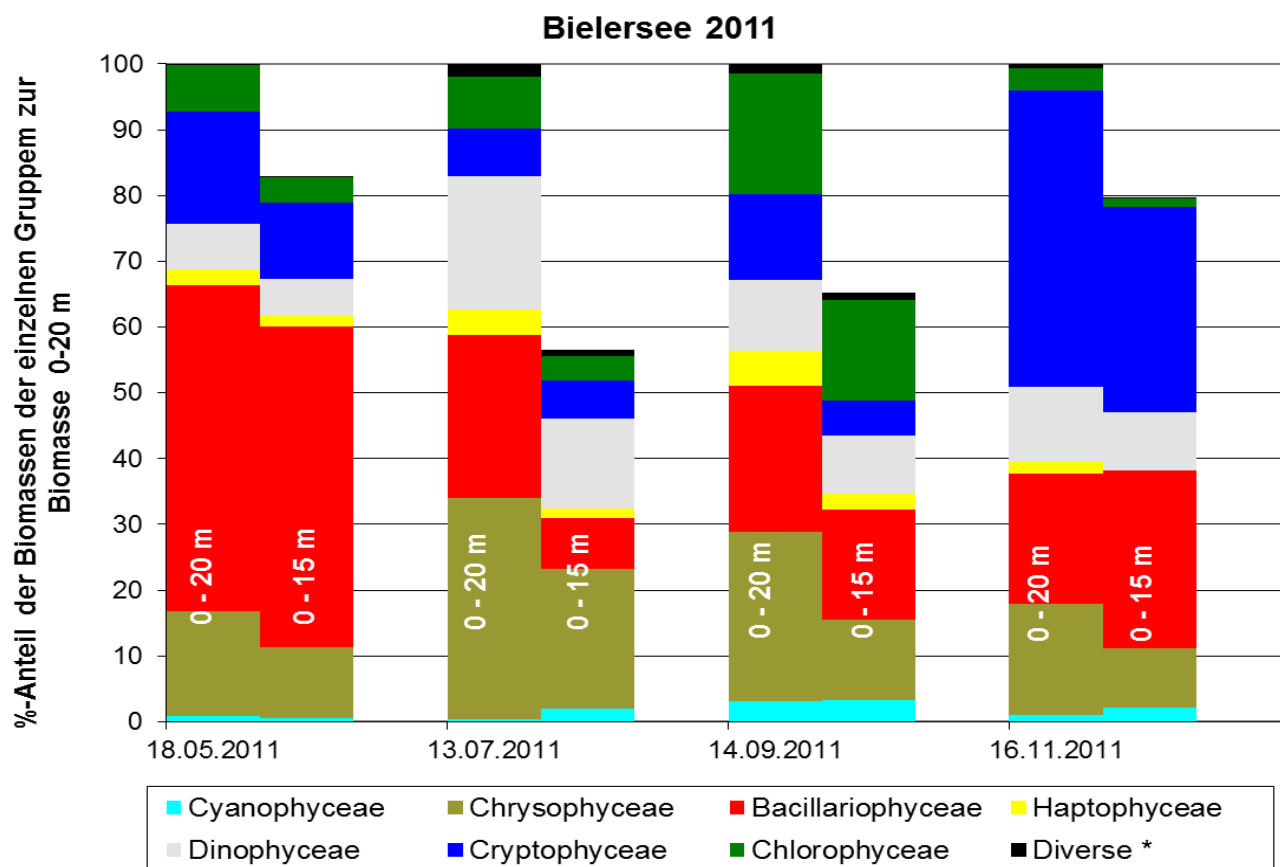


Abb. 13 Phytoplanktonverteilung in der Wassersäule im Bielersee 2011

Für die drei anderen Seen konnten keine Phytoplankton-Zusatzabklärungen durchgeführt werden. Die Beprobungstiefe im Briener- und Neuenburgersee wurden wie im Thunersee auf 0 - 40 m

angepasst. Die des Murtensees blieb hingegen bei 0 - 15 m. Diese Entscheidung wurde aufgrund der Fluoreszenzprofile von 2011 (Chlorophyll a) in den entsprechenden Seen getroffen.

Das seit März 2011 im Einsatz stehende Fluorometer (Bestandteil der Multiparameter Sonde von SeaBird) misst hochauflösende Tiefenprofile der Fluoreszenz des Chlorophyll a. Zwar liefert eine gerätespezifische Umrechnung daraus Chlorophyll a-Konzentrationen, die Werte dienen allerdings nur als Abschätzung der in-situ-Konzentrationen, da aufwändige seespezifische Kalibrationsreihen aus Kapazitätsgründen nicht realistisch sind. Trotzdem widerspiegeln die Fluoreszenzprofile die Tiefenverteilung der Primärproduktion sehr gut. Von allen 5 Seen sind seit März 2011 entsprechende Profile vorhanden (Bsp. Murtensee in Abb. 14).

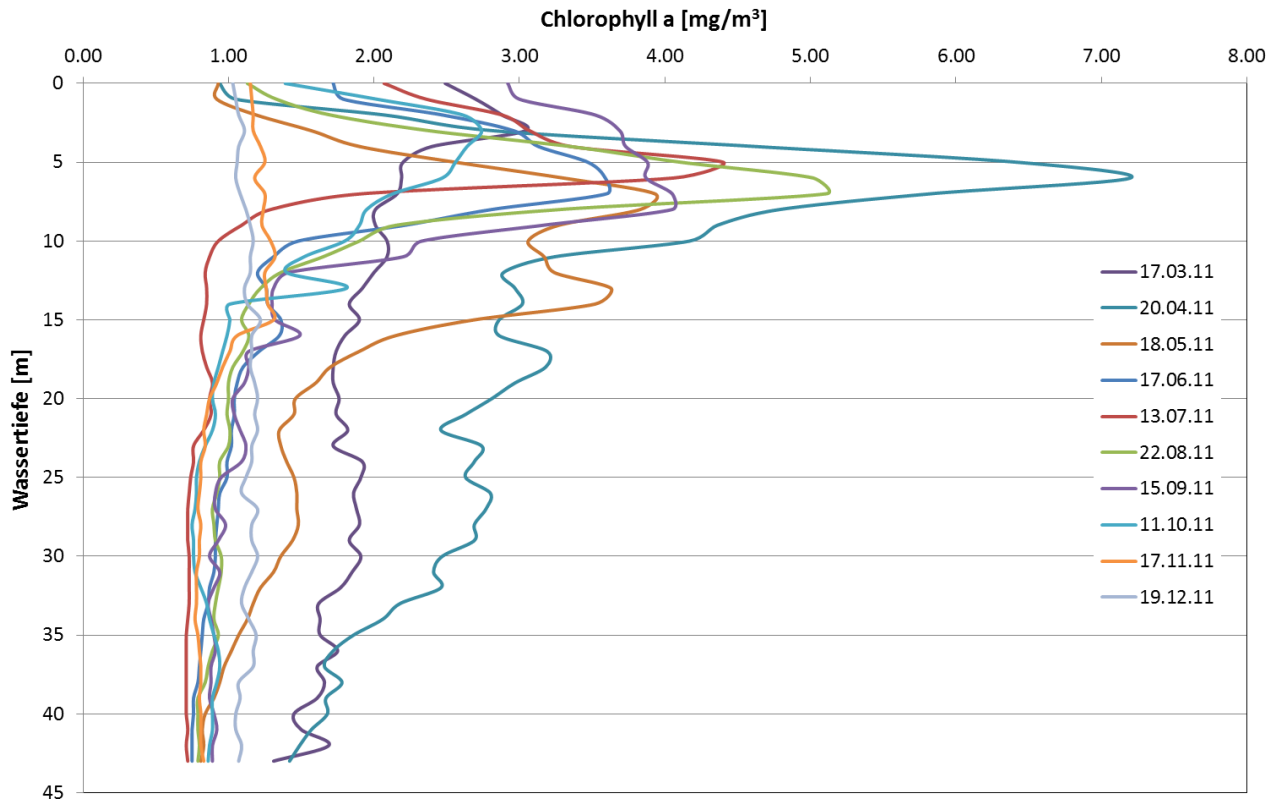


Abb. 14 Murtensee 2011, Chlorophyllprofile

7.6 Resultate Phytoplankton

7.6.1 Entwicklung der Gesamtbiomasse

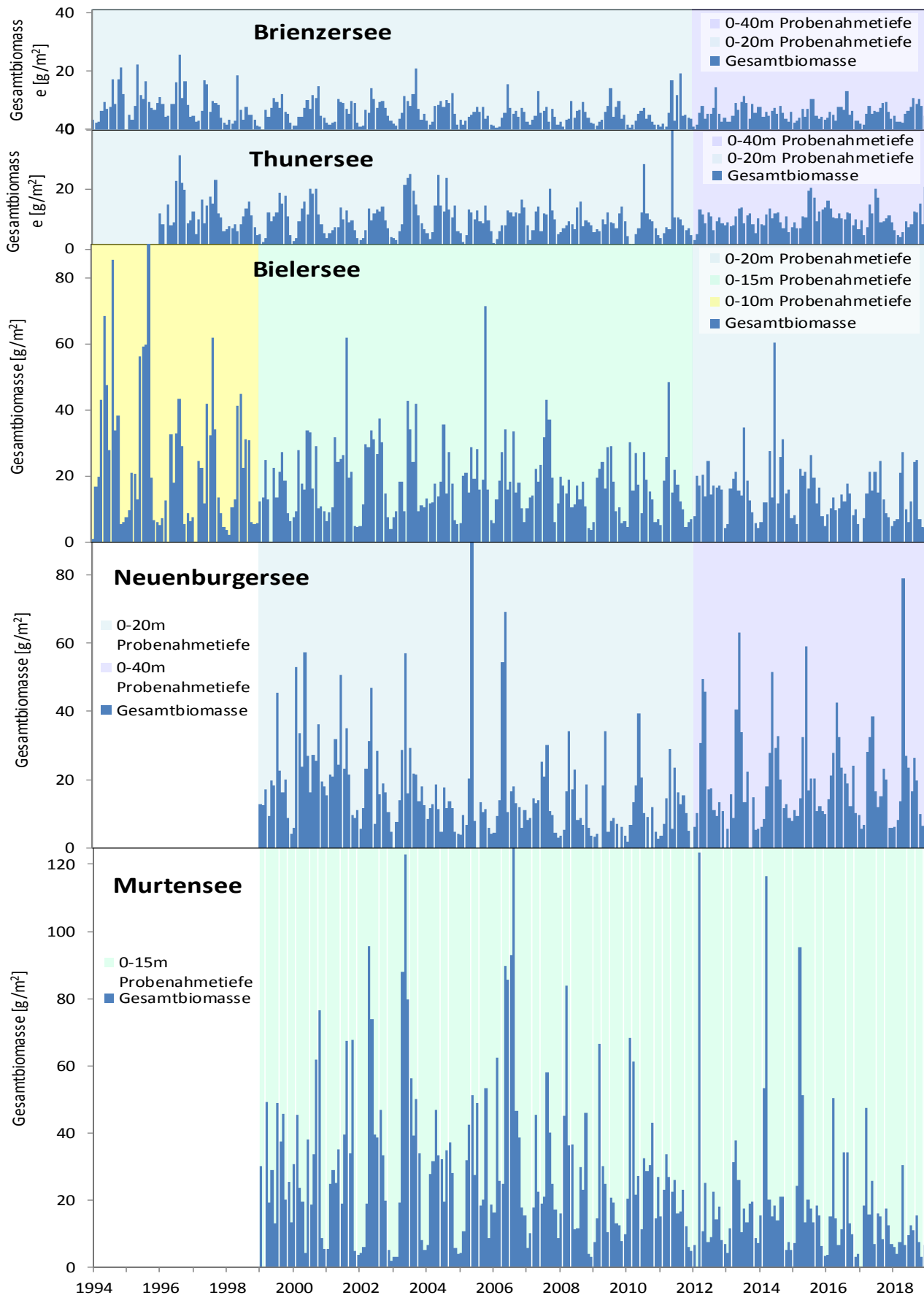


Abb. 15 Jahresverlauf der Gesamtbiomasse [g/m²]

Die Jahresverläufe der Gesamtbiomasse folgen in allen fünf Seen demselben Schema (Abb. 15 und Abb. 3.1.1 in Anhang 3.1). Nach einer sehr geringen Biomasse im Winter folgt eine Zunahme in Fröhsommer bis Sommer mit einer Abnahme im Herbst. In manchen Jahren und Seen finden sich mehrere Zunahmen und Abnahmen, in anderen nicht.

Die hohen Biomassen im Fröhsjahr und Sommer wurden in den letzten Jahren trotz gleicher Probenahmefrequenz (1x/Monat) im Bieler- und Murtensee wesentlich weniger häufig als früher erreicht. Dies obschon im Bielersee die Probenahmetiefe von 0-10 auf 0-15 und seit 2012 auf 0-20 m vergrössert wurde. Einzig im Neuenburgersee ist noch jedes Jahr ein Fröhsommerpeak in der gleichen Grössenordnung wie in den Nuller Jahren zu beobachten

Allerdings können in einzelnen Jahren diese Verläufe anders aussehen. So wurde 2018 im Thunersee im Dezember die höchste Biomasse festgestellt. Dies vermutlich eine Folge, des sehr trockenen Jahres. Erst im letzten Monat des Jahres 2018 fiel wieder verbreitet Regen, so dass genügend Nährstoffe in den See geschwemmt wurde und sich eine grössere Algenbiomasse ausbilden konnte.

In Thuner-, Brienzer- und Neuenburgersee sind die Jahresminima der Gesamtbiomasse seit der Vergrösserung der Probenahmetiefe von 20 auf 40 m im Winter nicht mehr so tief. Der prozentuale Anteil des Jahresminimums zum Jahresmaximum ist deshalb deutlich grösser geworden (Abb. 16). Im Bieler- und Neuenburgersee hat sich der prozentuale Anteil des Jahresminimums am Jahresmaximum der Gesamtbiomasse trotz der Tiefenvergrösserung nicht erkennbar geändert und ist kleiner als im Thuner- und Brienzersee (Abb. 16). Im Murtensee ist der Anteil des Jahresminimums am Jahresmaximum wegen der grossen Maxima meist am geringsten.

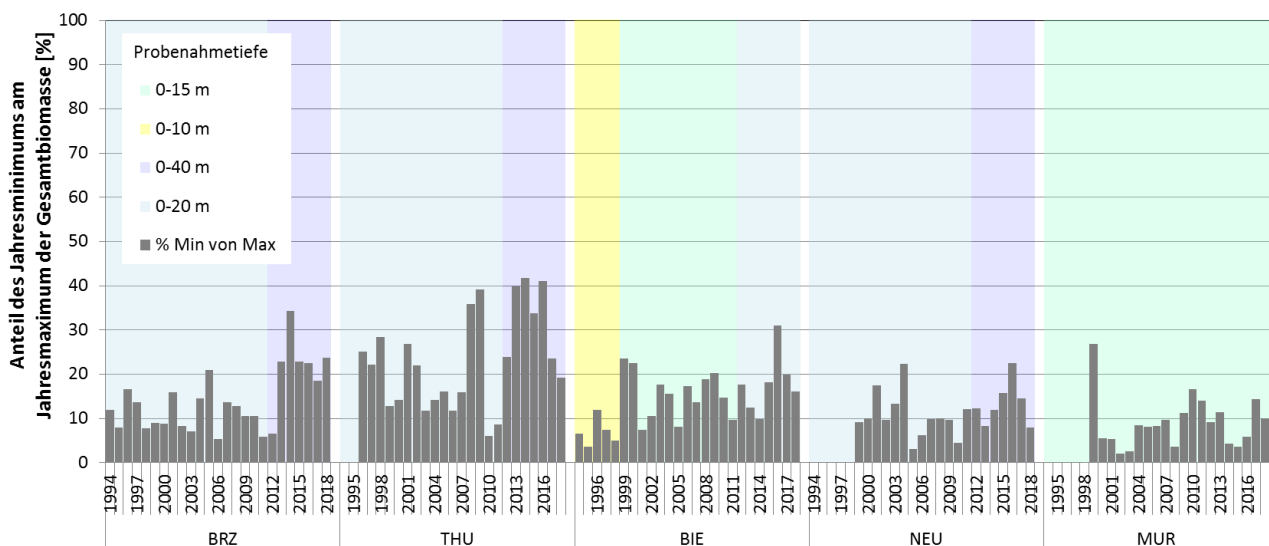


Abb. 16 Anteil des Jahresminimums am Jahresmaximum der Gesamtbiomasse in den 5 Seen

Die Jahresmittelwerte der Gesamtbiomasse der letzten 25 Jahre (Abb. 17 und Abb. 3.1.2 in Anhang 3.1) zeigen in Bieler- und Murtensee eine deutlich abnehmende Tendenz. Im Bielersee wurde in dieser Periode die Probenahmetiefe zweimal erweitert. Trotzdem ist die Abnahme klar erkennbar. In Brienzer-, Thuner- und Neuenburgersee nahm die mittlere Jahresbiomasse nach der Vergrösserung der Probenahmetiefe von 20 auf 40 m Wassertiefe nicht mehr weiter ab. In Brienzer- und Thunersee blieb sie seitdem auf dem vorherigen Niveau relativ stabil. Im Neuenburgersee variiert die mittlere Biomasse seit der Änderung der Probenahmetiefe auf einem höheren Niveau als in den Vorjahren, weist aber eine leicht abnehmende Tendenz auf.

Interpretation:

Die Stabilisierung des Jahresmittels nach der Vergrösserung der Probenahmetiefe auf einem leicht höheren (BRZ, THU) bzw. deutlich höheren Niveau (NEU) als vorher zeigt, dass die Algen im Brienzer- und Thunersee und insbesondere im Neuenburgersee auch in grösserer Tiefe vorkommen. Im Bielersee hingegen nahm die Gesamtbiomasse auch nach der Vergrösserung der Probenahmetiefe weiter ab, ebenso wie im Murtensee, dessen Probenahmetiefe unverändert

blieb. Im Bielersee ist davon auszugehen, dass die Biomasse so stark abgenommen hat, dass sie im Gegensatz zu Thuner- Briener- und vor allem Neuenburgersee mit einer Vergrößerung der Probenahmetiefe nicht mehr kompensiert werden kann. Sowohl beim Bieler- wie beim Murtensee stellt sich aufgrund der Resultate die Frage einer Vergrößerung der Probenahmetiefe in den nächsten Jahren.

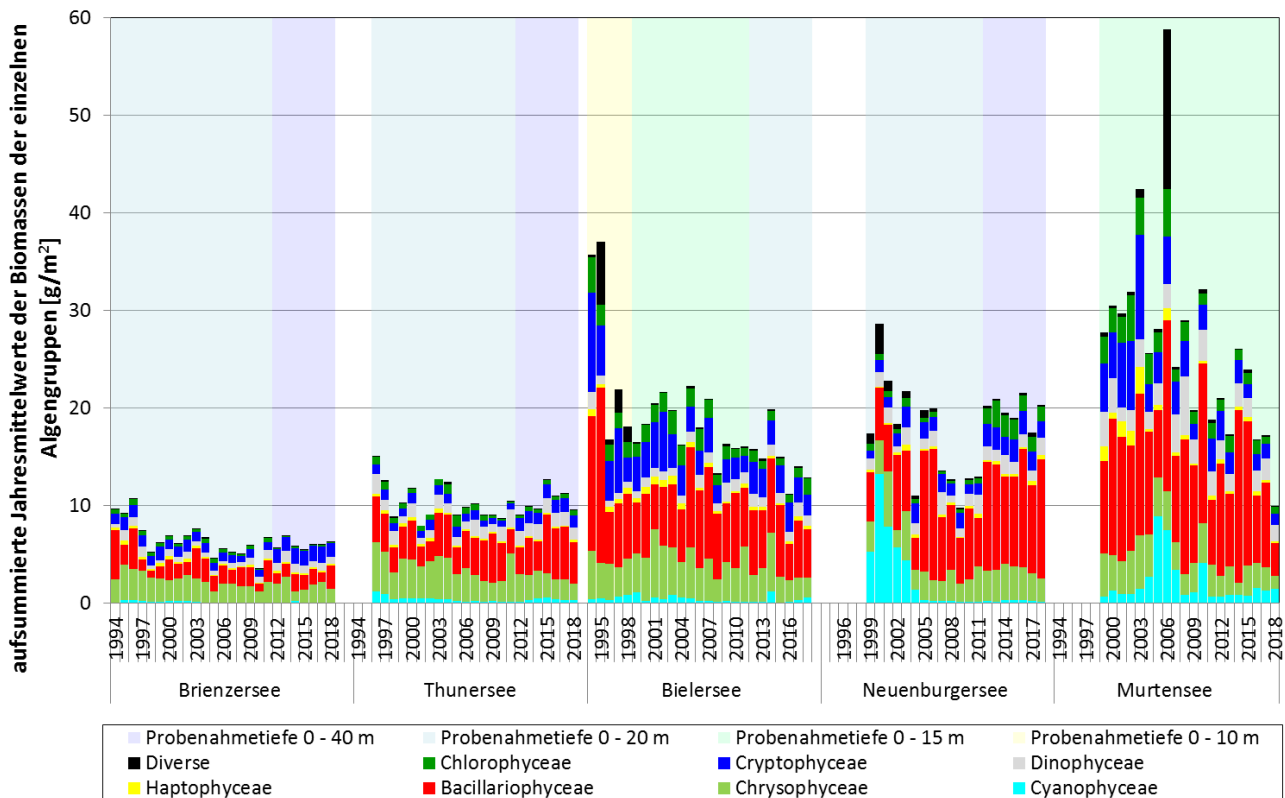


Abb. 17 Jahresmittelwert der Algenbiomasse [g/m^2], (N=10 -12)

7.6.2 Gesamtbiomasse des Phytoplanktons und Chlorophyll a

Zu Beginn der Untersuchungsperiode wurde das Chlorophyll a photometrisch bestimmt (1994-1996). In einer Übergangsphase wurde parallel eine photometrische und eine HPLC-Analyse durchgeführt (1996-2000). Ab 2001 wurde nur noch mit der HPLC-Methode gearbeitet. Leider entwickelte sich nach einigen Jahren eine - vor allem in den tiefen Nachweisbereichen - grössere Differenz zu den Auszählungen. Dies zeigte sich in allen fünf Seen, obschon im Neuenburgersee eine andere Person die Algen bestimmte und zählte. Da die Ursache nicht gefunden werden konnte, entschloss man sich auch aus spartechnischen Gründen, die Chlorophyllanalyse aufzugeben. Zudem wurde ein Fluorometer an der Multiparametersonde installiert. So konnte aufgrund des Profils die Tiefenverteilung des Chlorophylls verfolgt werden.

Seit 2016 werden wieder Chlorophyllbestimmungen durchgeführt, wiederum mit einer HPLC-Methode.

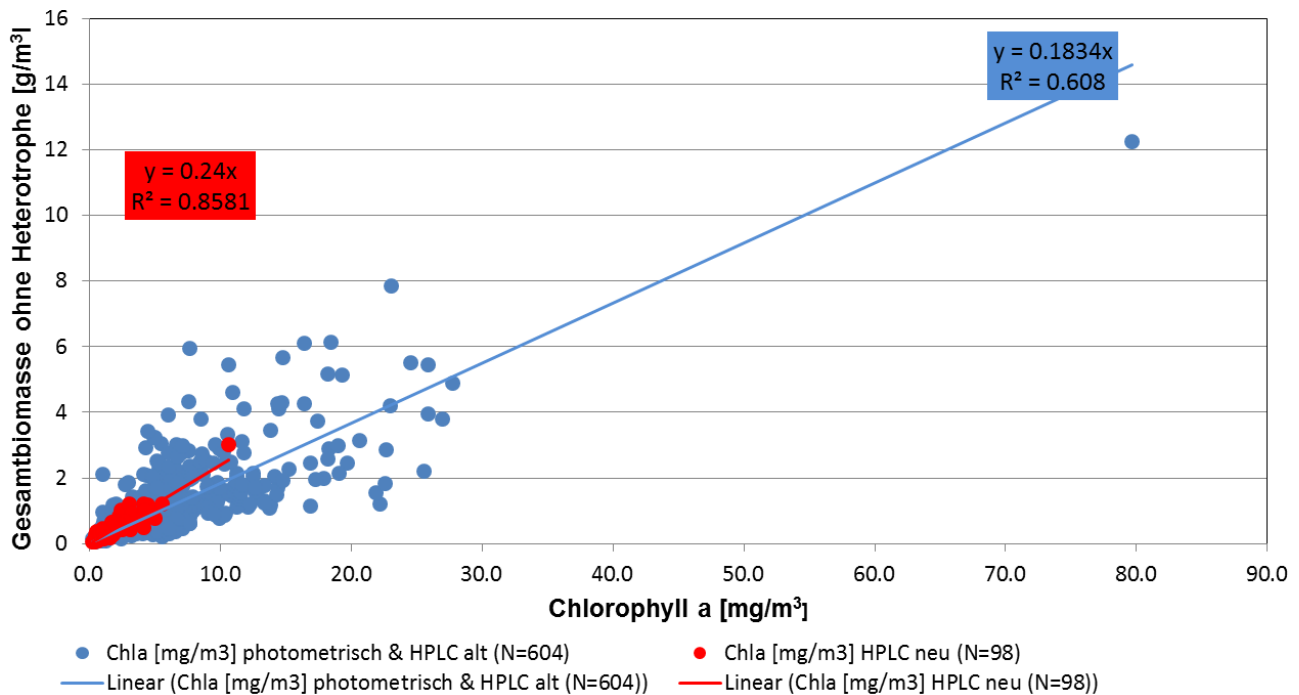


Abb. 18 Regression des Chlorophyll a und der Gesamtbioasse ohne obligat heterotrophe Algen [g/m³]

Insgesamt ergibt sich mit Beginn der neuen Messperiode des Chlorophylls trotz geringerer Zahl an Werten ein höheres Bestimmtheitsmass (R^2) zwischen Bioasse [g/m³] und Chlorophyll a [mg/m³] als in den früheren Jahren (Abb. 18). Jedoch sind in der früheren Periode auch verschiedene Methoden (Photometrie, HPLC) und verschiedene Labors beteiligt gewesen. Vergleicht man das Bestimmtheitsmass in den einzelnen Seen (Abb. 3.1.3 in Anhang 3.1), ist dies in den Seen mit geringen bis hohen Bioassen (MUR, BIE) wesentlich besser als im Brienzer- und Thunersee, wo auch die höchsten Bioassen nur noch geringe Werte aufweisen. Trotzdem zeigen Bioasse und Chlorophyll a auch in diesen Seen einen sehr ähnlichen Verlauf (Abb. 3.1.1 in Anhang 3.1).

7.6.3 Algengruppen

Die prozentualen Anteile der einzelnen Algengruppen am Jahresmittelwert der Gesamtbioasse zeigen ein klares Vorherrschen der *Bacillariophyceen* und der *Chrysophyceen* (Abb. 19). Nur im Neuenburgersee war zu Beginn der Nuller Jahre der Anteil der *Cyanophyceen* noch sehr gross. Die Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens* dominierte das Plankton jeweils während der Wintermonate. Ein Massenvorkommen konnte seither nicht mehr beobachtet werden. Diese Alge verschwand im Neuenburgersee fast völlig.

Die Jahresverläufe der Bioassen aller Gruppen und deren prozentuale Verteilung sind in Abb. 3.2.1 und 3.2.2 im Anhang 3.2 zu finden.

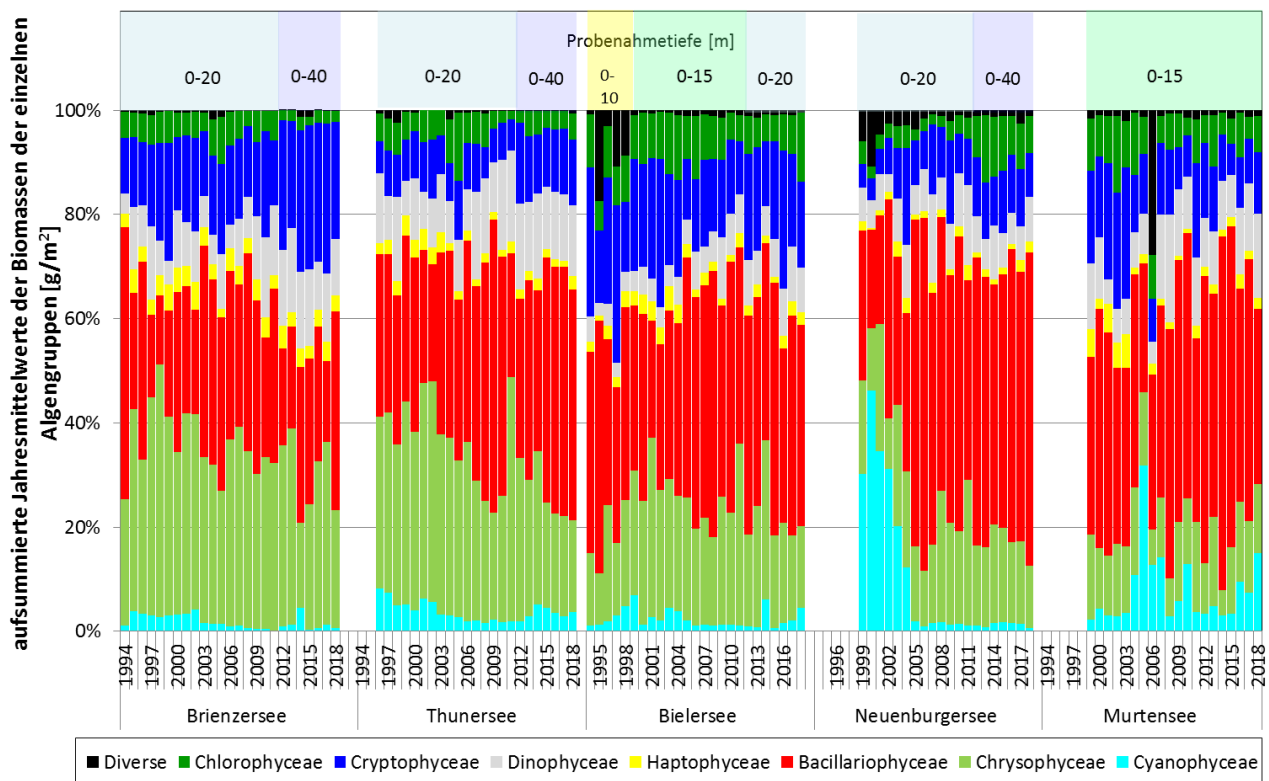


Abb. 19 Prozentualer Anteil der Algengruppen am Jahresmittelwert der Gesamtbiomasse [g/m^2], Diverse = Conjugatophyceae, Bacteriophyta, Xanthophyceae, Euglenophyceae, Prasinophyceae

Der Biomasseanteil der **Blualgen** (Cyanophyceae) im Neuenburgersee liegt nun in einem ähnlichen Bereich wie in Brienz- und Bielersee. Im Thunersee liegt er leicht höher. Im Murtensee variiert der Anteil von Jahr zu Jahr etwas stärker als in den anderen Seen und ist auch etwas höher (Abb. 19 und 3.2.3 im Anhang 3.2).

Die Gruppe der **Goldalgen** (Chrysophyceae) erreicht im Brienz- und Thunersee die höchsten Anteile (meist $>20\%$) mit einer leicht abnehmenden Tendenz. Im Bielersee schwankt der Anteil meist zwischen 10 und 20% , im Neuenburgersee liegt der Anteil im gleichen Bereich, aber meist etwas tiefer. Den geringsten Anteil am Jahresmittelwert der Gesamtbiomasse erreichen die Chrysophyceen im Murtensee.

Die **Kieselalgen** (Bacillariophyceae) erreichen in allen Seen mit Ausnahme des Brienzsees die höchsten Biomassenanteile am Jahresmittelwert. Im Neuenburger- und Murtensee hat sich der Anteil in den letzten Jahren sogar erhöht, auf teilweise über 60% des Jahresmittelwertes.

Die schon geringen Anteile der **Kalkalgen** (Haptophyceae) nahmen in allen Seen weiter ab und zwar bevor die Probenahmetiefen vergrößert wurden.

Mit der Vergrößerung der Probenahmetiefe erhöhte sich auch der Anteil der **Panzerflagellaten** (Dinophyceae) im Brienz-, Thuner- und Bielersee. Doch auch im Murtensee erhöhte sich deren Anteil seit 2007. Im Neuenburgersee ist keine Änderung des Anteils der Dinophyceen an der Gesamtbiomasse erkennbar. Einzig die Schwankungen von Jahr zu Jahr scheinen nach der Vergrößerung der Probenahmetiefe etwas abgenommen zu haben.

Der Anteil der **Schlundalgen** (Cryptophyceae) hat im Brienz- und Thunersee mit der Vergrößerung der Probenahmetiefe deutlich und im Neuenburgersee leicht zugenommen. Die Anteile blieben seit der Änderung mehr oder weniger stabil. Im Bielersee wurde mit der Vergrößerung der Probenahmetiefe ebenfalls eine Erhöhung des Anteils festgestellt, jedoch mit einer leicht abnehmenden Tendenz. Eine tendenzielle Abnahme zeigt sich im Murtensee.

Die **Grünalgen** (Chlorophyceae) weisen im Brienzsee seit der Vergrößerung der Probenahmetiefe einen geringeren Anteil auf. Im Thuner- und Neuenburgersee hingegen vergrößerte sich der Anteil, wobei im Thunersee die Anteile seither mehr oder weniger stabil

blieben, während im Neuenburgersee eine abnehmende Tendenz zu beobachten ist. Im Bielersee blieb der Anteil nach der letzten Vergrößerung der Probenahmetiefe stabil und zeigt in den letzten Jahren eine leicht zunehmende Tendenz. Im Murtensee ist seit Beginn der Messungen trotz grösseren Schwankungen eine abnehmende Tendenz erkennbar.

In der Algengruppe **Diverse** sind die Anteile in den Juraseen kleiner geworden. Im Thuner- und Brienersee treten sie so vereinzelt auf, dass keine Tendenz erkennbar ist.. Sie erreichen meist weniger als 2% des Jahresmittels der Gesamtbiomasse.

7.6.4 Algengruppen einzeln

Die Jahresverläufe der einzelnen Gruppen können im Anhang 3.2. Abb. 3.2.4 -3.2.11 verfolgt werden.

7.6.4.1 Blaualgen (Cyanophyceae)

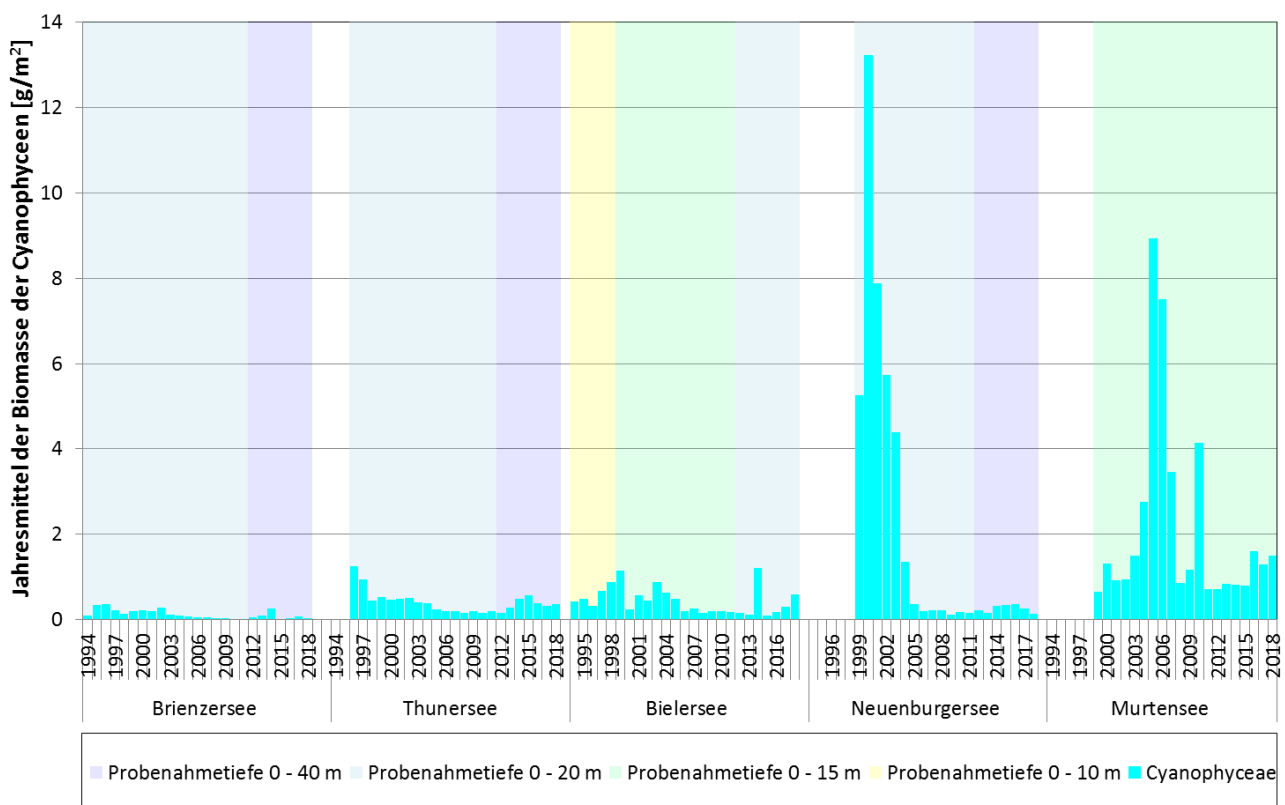


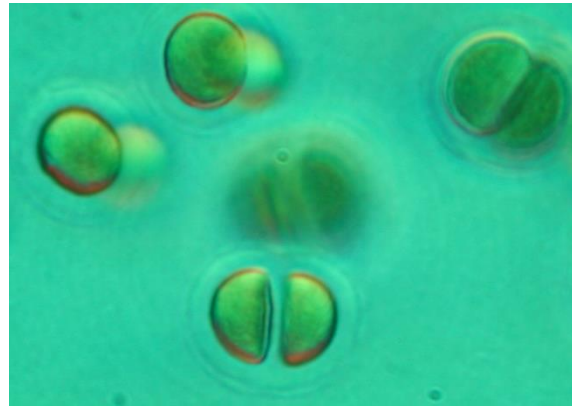
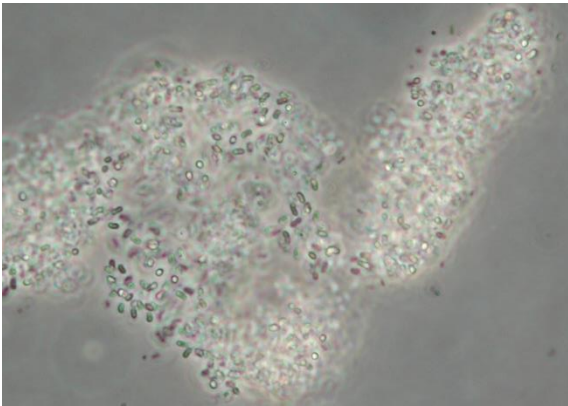
Abb. 20 Jahresmittelwerte der Biomasse der Blaualgen (Cyanophyceae)

In den 5 Seen sind die Cyanophyceen mit insgesamt 55 Taxa vertreten (Anhang 3.2 Tab. 3.2.1). Zwischen 26 und 48 Taxa sind in den einzelnen Seen gefunden worden. Im Brienzer-, Thuner- und Bielersee hat die bereits in der Mitte der 90-er Jahre geringe Blaualgenbiomasse noch einmal abgenommen. Noch viel drastischer geschah dies im Neuenburgersee (Abb. 20). Bei der zwischen 1999 und 2004 dominierenden Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) konnte seither kein Massenvorkommen mehr beobachtet werden, trotz Vergrößerung der Probenahmetiefe von 20 auf 40 m. Die grösseren Peaks im Bielersee in den 90-er Jahren waren ebenfalls durch die Burgunderblutalge verursacht. Auch in diesem See sind Massenvorkommen seit Jahren nicht mehr beobachtet worden.

Im Murtensee bilden vor allem die Blaualgenkolonien grosse Biomassen aus, wie z.B. *Microcystis aeruginosa* 2005 und 2006. Der grosse Peak 2007 besteht überwiegend aus der kleinen Blaualge *Synechococcus*. Im Oktober 2010 traten gleich verschiedenen Blaualgen in grossen Mengen auf (*Aphanocapsa* und *Cyanobium*). In den letzten Jahren ist die Kolonie bildende Blaualge *Woronichinia* teilweise in grösseren Biomassen aufgetreten.

Die grösseren Biomassen der Blaualgen bestehen in Brienzer- und Thunersee fast vollständig aus *Anabaena* sp.

Fast das ganze Jahr hindurch finden sich in allen Seen kleinste Blaualgen in Kolonien, wie *Aphanothece clathrata* und *Aphanocapsa* und einzeln lebende wie *Cyanobium plancticum*, die jedoch trotz hoher Individuenzahlen kaum zur Biomasse beitragen.



Die Kolonien der Blaualge *Aphanothece* treten in allen Seen zum Teil recht häufig auf. Die einzelnen Zellen sind mit 2 µm Länge sehr klein.

Kolonien mit wesentlich geringerer Zellzahl jedoch mit grösseren Zellen (5-10 µm) bildet die Blaualge *Chroococcus*. Sie tritt vorzugsweise im Bieler- und Murtensee auf.

7.6.4.2 Goldalgen (Chrysophyceae)

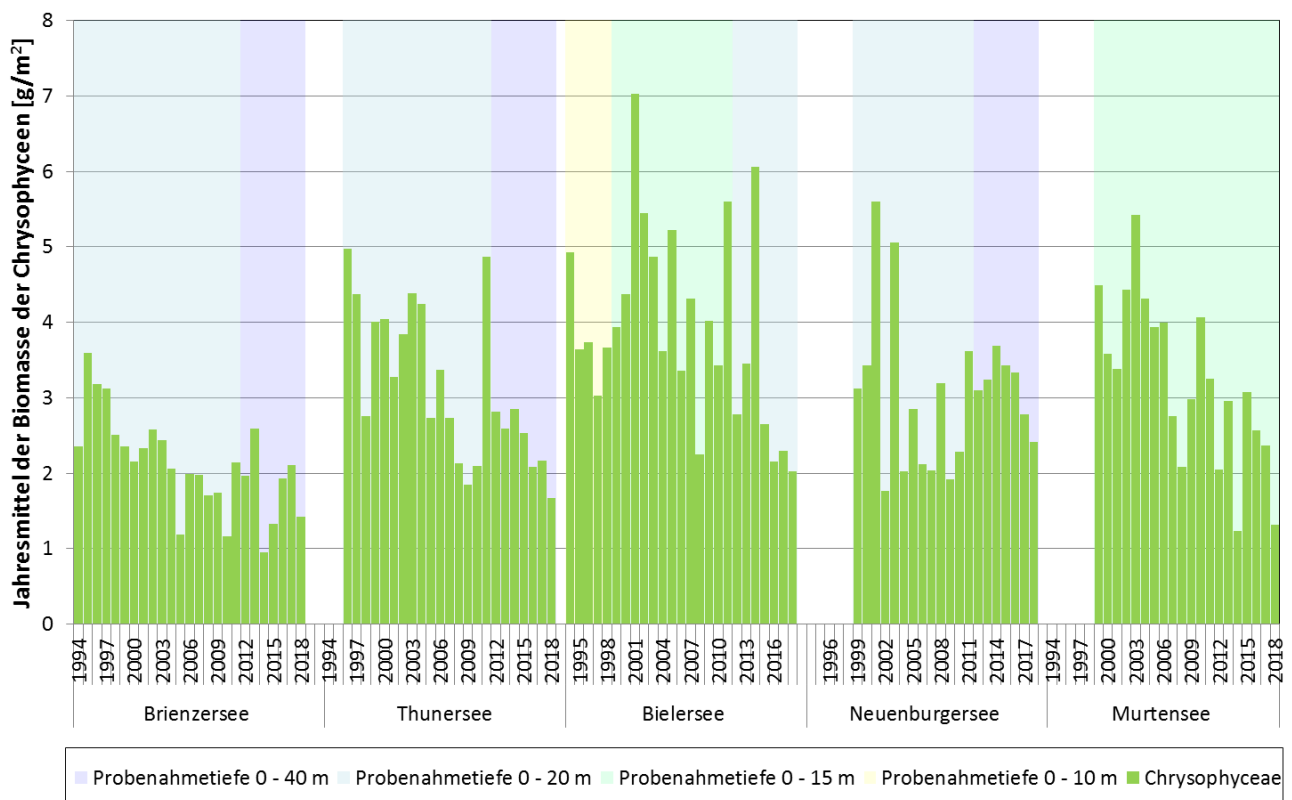


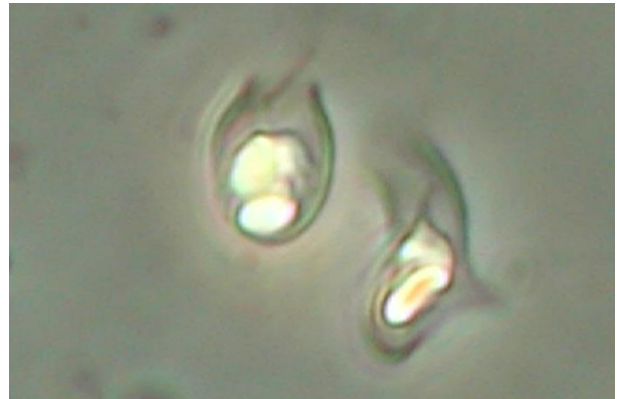
Abb. 21 Jahresmittelwerte der Biomasse der Goldalgen (Chrysophyceae)

In den 5 Seen wurden insgesamt 68 Taxa dieser Gruppe gefunden, wobei in Brienzer-, Thuner und Bielersee die meisten Taxa und im Murtensee die wenigsten aufgetreten sind. Einige Taxa dienen als Indikatoren für mesotrophe und oligotrophe Gewässer (13 Taxa).

Die Chrysophyceen weisen in allen 5 Seen eine abnehmende Tendenz der der Jahresmittel Biomasse auf (Abb. 21). Die Algen dieser Gruppen bevorzugen eher kühlere Gewässer - so sind sie auch häufig in Bergseen anzutreffen.

Eventuell erwärmt sich das Wasser in den drei Jurarandseen (Bieler-, Neuenburger- und Murtensee) in den letzten Jahren so weit, dass sich dies für Chrysophyceen bereits nachteilig auswirkt. Einzelne Taxa wie die häufige *Dinobryon divergens* benötigen jedoch auch ein Minimum des Pflanzennährstoffs Phosphat (0.002-0.004 mg PO₄-P/l, K. STARMACH, 1985, Süßwasserflora Mitteleuropas, Band 1, S. 31). Diese Konzentration wird sowohl im Thuner- wie im Brienersee regelmässig unterschritten.

Viele der Chrysophyceen sind mixotroph, das heisst sie ernähren sich, wenn zu wenig Nährstoffe und Licht vorhanden sind auch von Bakterien und Mikroalgen. Einige Chrysophyceen sind sogar obligat heterotroph (17 der gefundenen Taxa), das heisst ihnen fehlt das Chlorophyll bzw. andere Pigmente, die sie zur Photosynthese befähigen.



Dinobryon divergens (Goldalgenkolonie). Die Bildung von Kolonien erschwert Frassfeinden den Konsum. Die Kolonien können sich erstaunlicherweise gerichtet fortbewegen und sind so fähig sich in der euphotischen (lichtdurchfluteten) Zone zu halten, obschon die einzelnen Zellen nicht miteinander in direktem Kontakt stehen, da sie durch ihre Gehäuse voneinander getrennt sind.

Viele der Chrysophyceen haben Gehäuse, die teils ganz eigene Formen aufweisen wie hier *Pseudokepyhrion* sp und *Chrysolykos skujae* aus dem Thunersee. Sie sind regelmässig im Thunersee vorhanden, allerdings nie massenhaft.

7.6.4.3 Kieselalgen (*Bacillariophyceae*)

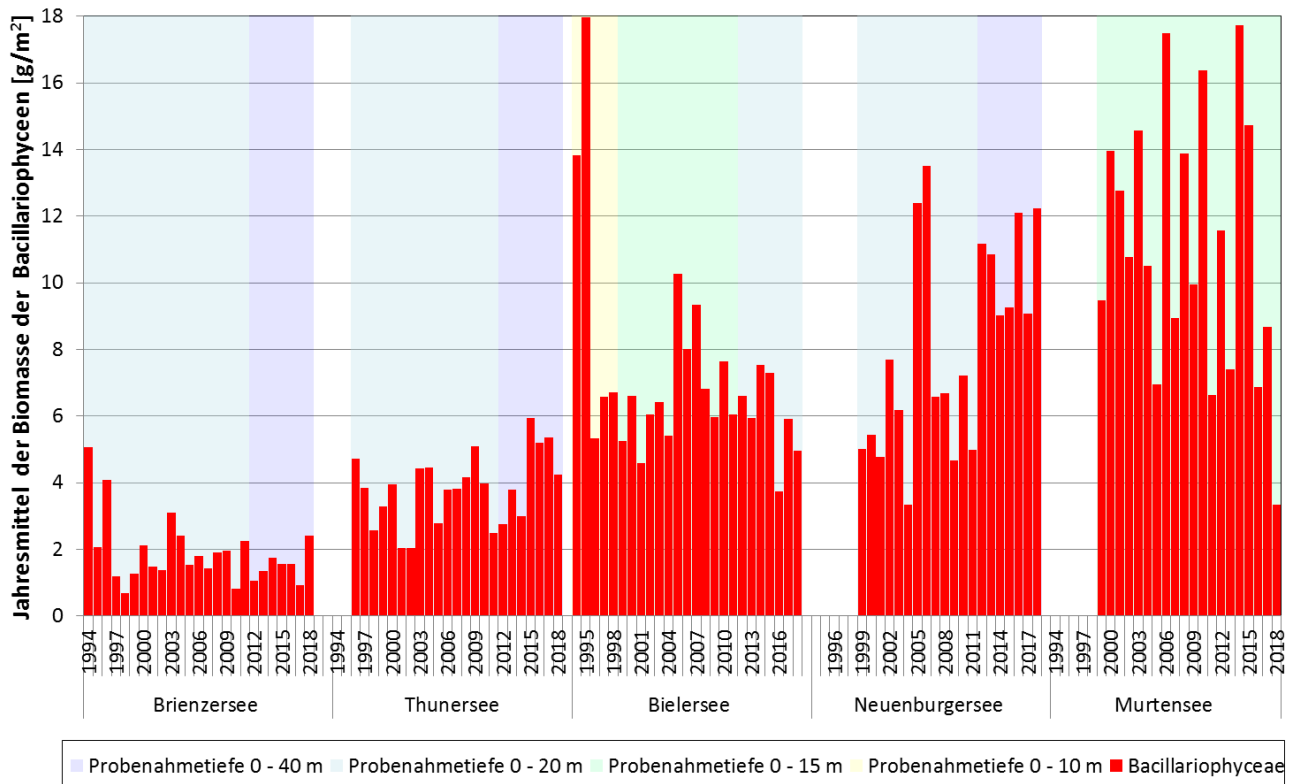
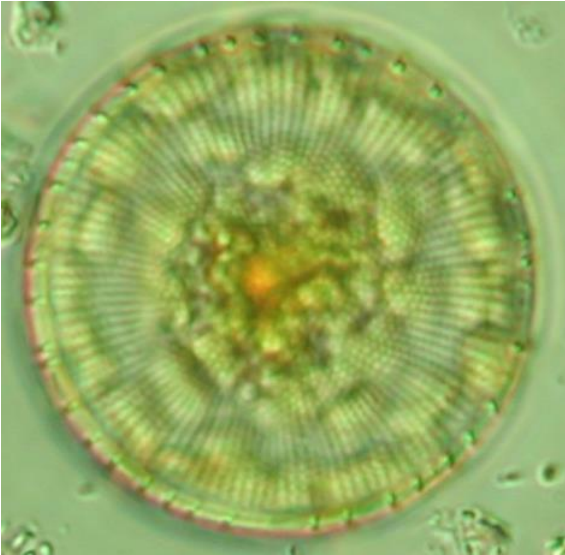


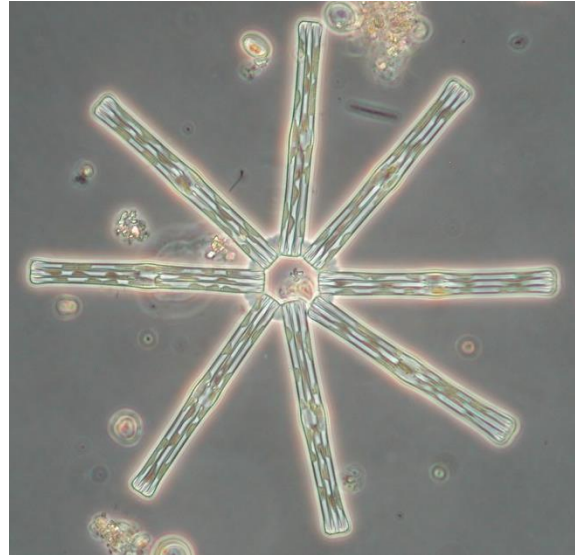
Abb. 22 Jahresmittelwerte der Biomasse der Kieselalgen (*Bacillariophyceae*)

In den 5 Seen wurden insgesamt 72 Taxa dieser Gruppe gefunden, wobei im Bielersee mit 56 und im Neuenburgersee mit 58 die meisten Taxa aufgetreten sind. Im Brienz- und Thunersee wurden weniger gefunden (42 und 44 Taxa). Einige Taxa dienen als Indikatoren für mesotrophe und oligotrophe Gewässer (13 Taxa).

Im Thunersee erhöhte sich das Jahresmittel der Kieselalgenbiomasse erst mit einer Verzögerung von drei Jahren nach der Vergrößerung der Probenahmetiefe (Abb. 22). Im Gegensatz dazu erhöhte sich das Jahresmittel im Neuenburgersee sofort nach der Vergrößerung der Probenahmetiefe das Jahresmittel deutlich. Das Jahresmittel im Bielersee nimmt hingegen trotz der Erhöhung der Probenahmetiefen tendenziell ab. Gleiches ist im Murtensee zu beobachten, Vergleicht man die Jahresverläufe (Abb. 3.2.6 in Anhang 3.2,) zeigt sich, dass nur noch in Murten- und Neuenburgersee grosse Frühjahrsbiomassen der Kieselalgen auftreten. Auffallend ist besonders, dass im Bielersee die Spitzenwerte seit Mitte der Nuller Jahre deutlich geringer ausfallen als noch in den 90-er Jahren.



Stephanodiscus neoastrea ist eine grosse einzeln lebende Kieselalge, die im Bielersee häufig im Frühjahr auftritt.



Die Kieselalgenkolonie *Tabellaria* bildet Platten oder Sterne. Die einzelnen stäbchenförmigen Zellen sind mit Gallerttupfen miteinander verbunden. Sie ist in den letzten Jahren seltener geworden.

7.6.4.4 Kalkalgen (*Haptophyceae*)

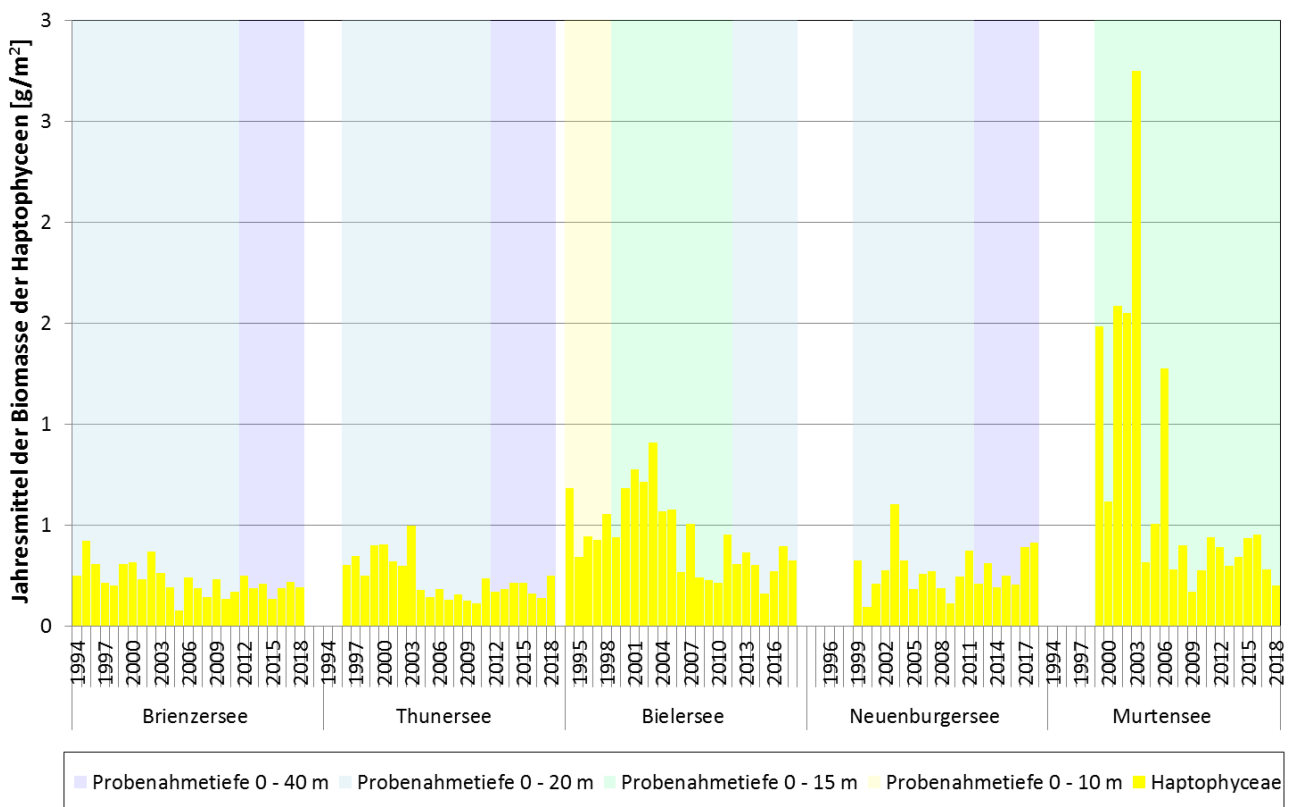


Abb. 23 Jahresmittelwerte der Biomasse der Kalkalgen (*Haptophyceae*)

Die Kalk- oder Lassoalgen sind in den 5 Seen mit einer Art (*Chrysochromulina parva*) vertreten. Sie hat ihr Maximum in den Sommermonaten (Anhang 3.2. Abb. 3.2.7). *Chrysochromulina parva* zeigt in Thuner- und Brienzersee seit Jahren ein ähnliches Vorkommen. In Bieler- und Murtensee ist in den letzten Jahren ein kleineres Jahresmittel zu beobachten. Sehr deutlich ist die Abnahme im Murtensee seit der zweiten Hälfte der Nuller-Jahre (Abb. 23).



Die Kalkalge *Chrysochromulina parva* tritt in allen Seen auf. Sie ist die einzige häufige Vertreterin dieser Gruppe in den 5 Seen.

7.6.4.5 Panzerflagellaten (Dinophyceae)

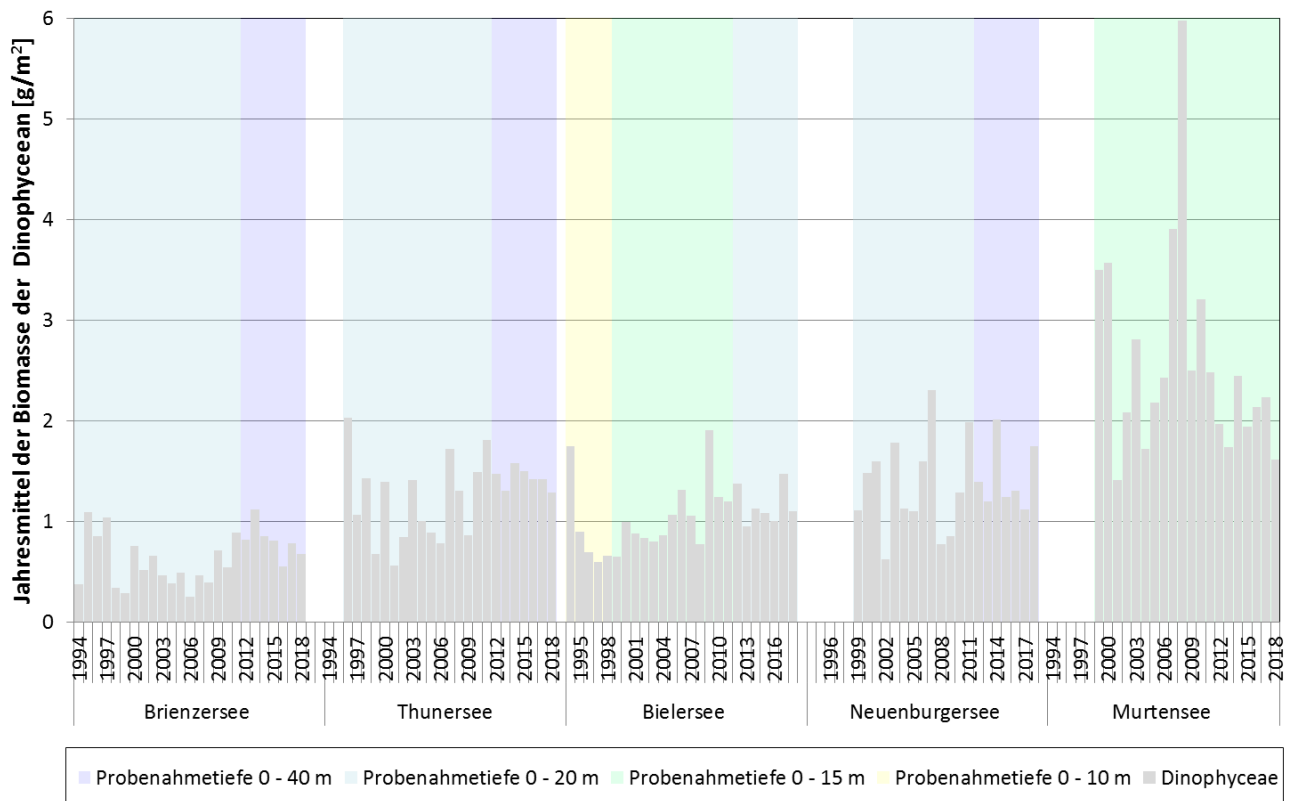
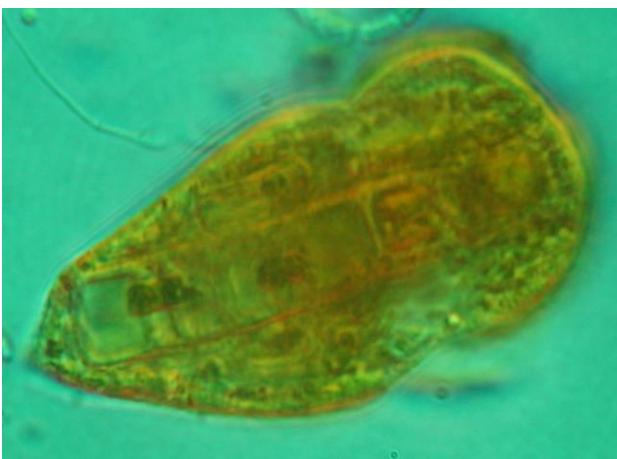
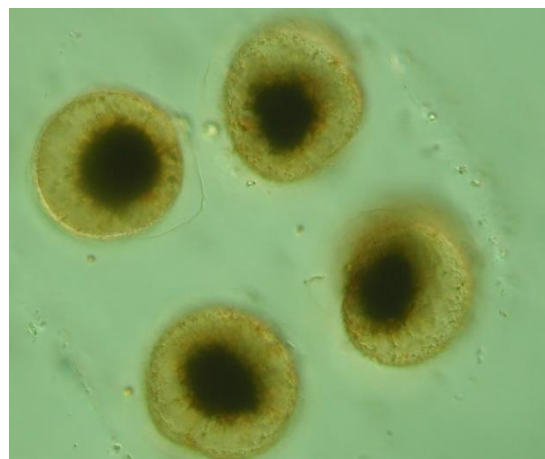


Abb. 24 Jahresmittelwerte der Biomasse der Panzerflagellaten (Dinophyceae)

Die Panzerflagellaten sind in allen Seen ab Frühsommer bis Herbst in grösserer Zahl anzutreffen (Anhang 3.2, Abb. 3.2.8). Insgesamt wurden 17 Taxa in den Seen gefunden. In Thuner-, Bieler- und Murtensee sind alle 17 Vertreter dieser Gruppe angetroffen worden. In Brienz- und Neuenburgersee waren es zwei bzw. drei Taxa weniger. Die Dinophyceen gehören in den 5 Seen zu den grössten einzelligen Algen. Mit der Vergrösserung der Probenahmetiefe in vier der fünf Seen wurde eine leicht grössere Biomasse der Panzerflagellaten erfasst (Abb. 24). Dies zeigt, dass sich die Algen, die nur im Zystenstadium nicht beweglich sind, sich auch gerne in tieferen Wasserschichten aufhalten.



Der Panzerflagellat *Gymnodinium helveticum* hat einen Kieselalgenfaden der Gattung *Aulacoseira* gefressen. Viele Dinophyceen betreiben nicht nur Photosynthese, sondern ergänzen ihre Nahrung auch mit dem "Frass" von anderen Algen.



Häufig bilden sie im Zystenstadium auch Gallerthüllen aus, die bei Massenvorkommen die Netze der Berufsfischer verkleben können.

7.6.4.6 Schlundalgen (Cryptophyceae)

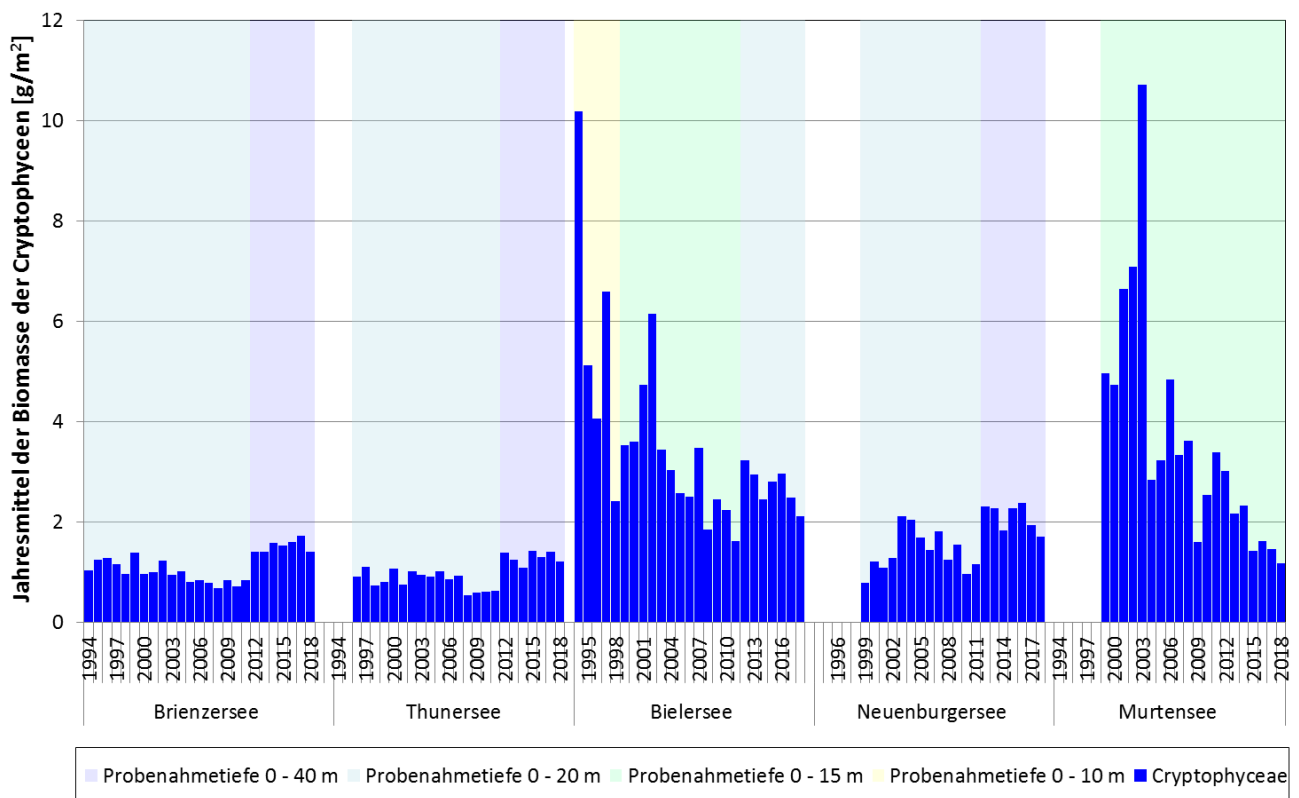
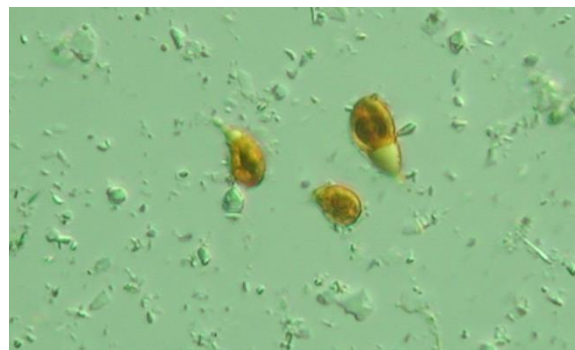


Abb. 25 Jahresmittelwerte der Biomasse der Schlundalgen (Cryptophyceae)

Die Schlundalgen sind mit insgesamt 14 Taxa vertreten. In Bieler-, Murten- und Thunersee wurden am meisten Vertreter gefunden. Hier zeigt sich die Zunahme des Jahresmittels der Biomasse nach Vergrößerung der Probenahmetiefe deutlich (Abb. 25). Es ist bekannt, dass Schlundalgen wie z.B. *Cryptomonas*-Taxa häufig in tieferen Schichten in Nähe der Chemokline oder auch im Winter unter dem Eis dichte Populationen bilden. Cryptophyceen haben ähnlich wie die Blaualgen Pigmente entwickelt (blaues Phycoerythrin), die es ihnen erlauben auch in tieferen Schichten bei geringem Lichteinfall erfolgreich Photosynthese zu betreiben.



Die Schlundalge *Cryptomonas* ist mit bis zu 40µm eine der Grösseren dieser Gruppe und tritt in unseren Seen regelmässig, aber nie in grossen Massen auf.



Im Gegensatz zu den kleineren Schlundalgen der Gattung *Rhodomonas*, die z.B. im Brienzensee seit der Vergrößerung der Probenahmetiefe zeitweise die häufigsten Algen im See sind.

7.6.4.7 Grünalgen (Chlorophyceae)

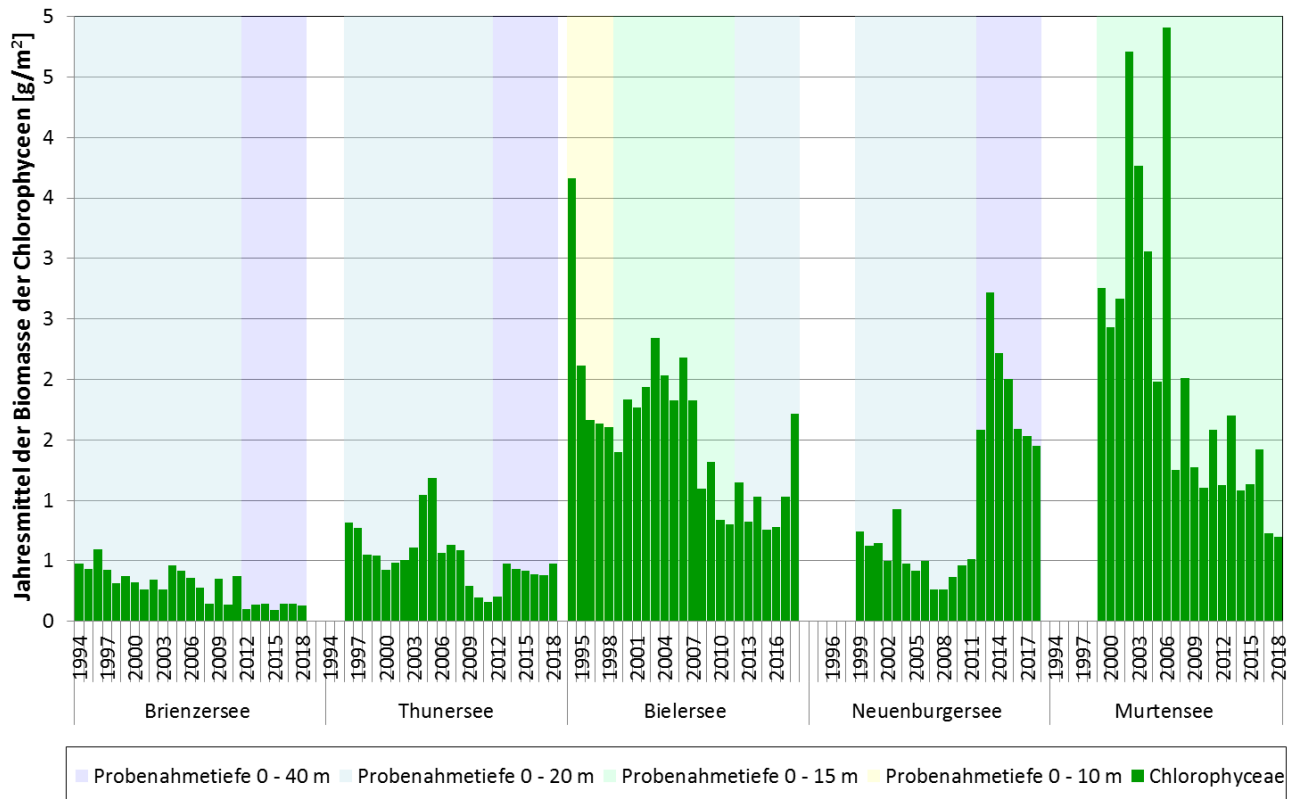
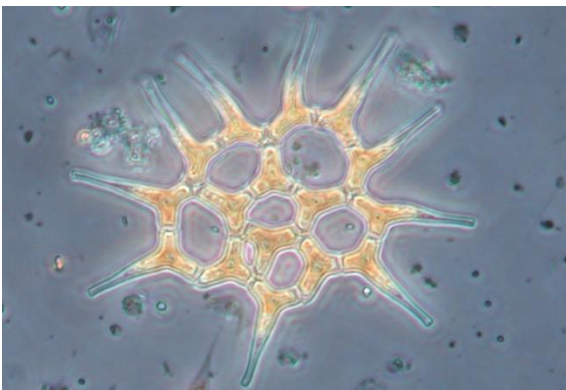


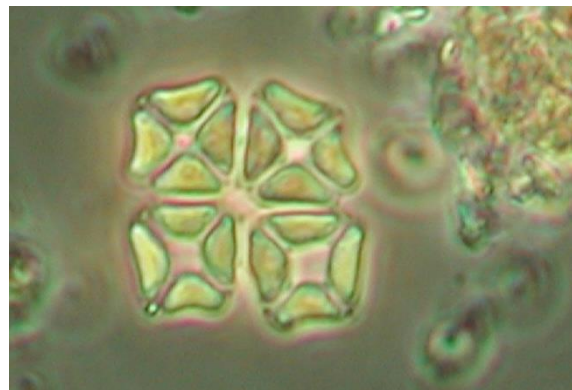
Abb. 26 Jahresmittelwerte der Biomasse der Grünalgen (Chlorophyceae)

In den 5 Seen wurden 145 Taxa gefunden, die allerdings selten grosse Biomassen ausbilden. Von den gefundenen Taxa sind rund 45 Indikatortaxa, die aber auch eutrophe und hypertrophe Bedingungen anzeigen. In Murten- und Bielersee wurden die meisten Taxa (115 bzw. 127) gefunden. Weniger als die Hälfte sind in den übrigen drei Seen aufgetreten (THU 54, NEU 56 und, BRZ 49). Sehr auffallend ist die Zunahme des Jahresmittels im Neuenburgersee nach der Vergrösserung der Probenahmetiefe (Abb. 26).

Im Bielersee konnte im August 2018 seit langem wieder ein Massenvorkommen einer Grünalge (*Hariotina reticulata* Syn. *Coelastrum reticulatum*) beobachtet werden, das das Jahresmittel von 2018 deutlich erhöhte. Im Neuenburgersee wird die Biomasse überwiegend aus kleinsten Einzelzellen, den sogenannten μ -Algen gebildet.



Die Grünalgen zeichnen sich durch eine grosse Formenvielfalt aus. *Pediatrum simplex* (links) bildet aus mehreren Zellen eine sternförmige Kolonie, deren innere Zellen eine andere Form als die Aussenzellen aufweisen.



Bei *Crucigenia fenestrata* bilden gleich aussehende Zellen "Viererpäckli".

7.6.4.8 Diverse (Conjugatophyceae, Bacteriophyta, Xantophyceae, Euglenophyceae, Prasinophyceae)

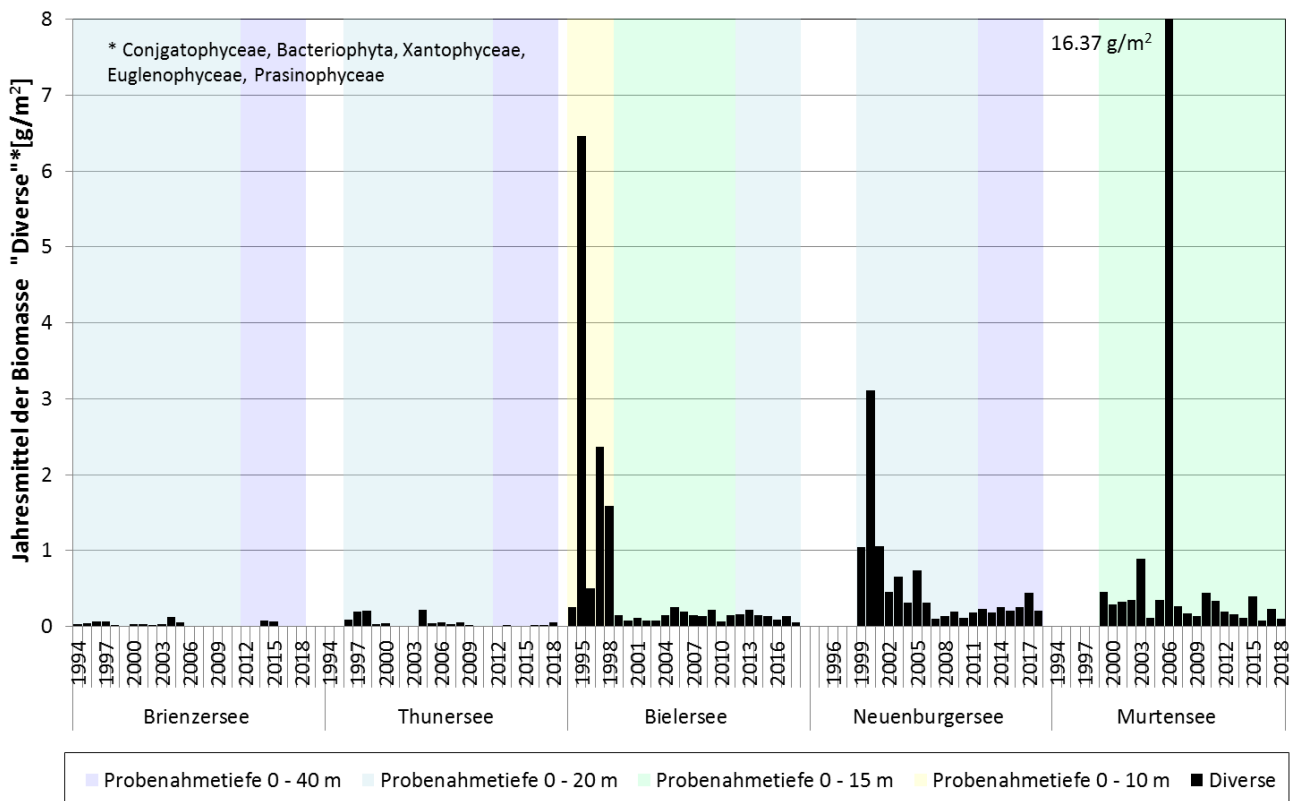
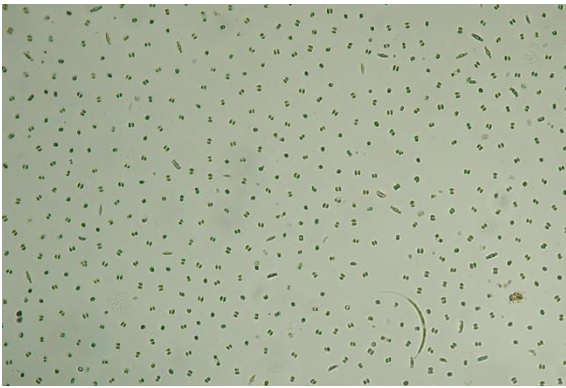


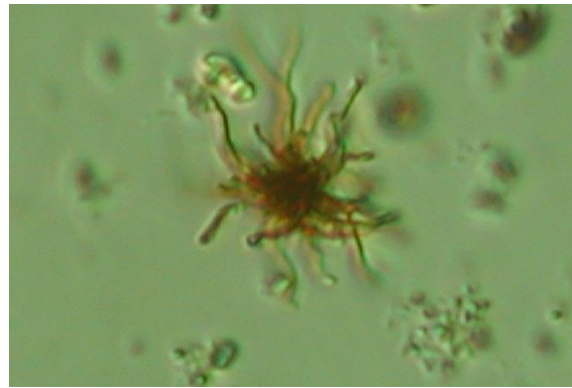
Abb. 27 Jahresmittelwerte der Biomasse diverser Algen (Conjugatophyceae, Bacteriophyta, Xantophyceae, Prasinophyceae)

In dieser Gruppe sind verschiedene in unseren Seen eher seltene Algengruppen mit insgesamt 93 gefundenen Taxa zusammengefasst. In Bieler- und Murtensee finden sich aus dieser Gruppe viele Taxa (72 bzw. 60). In den drei anderen Seen sind deutlich weniger Taxa dieser Sammelgruppe anzutreffen (BRZ 10, THU 28 und NEU 18 Taxa).

In einzelnen Jahren treten Massenvorkommen auf (Abb. 27). In der ersten Hälfte der 90-er Jahre kam es im Bielersee im Sommer regelmässig zu einem Massenvorkommen der Jochalge *Mougeotia*. Sie wird heute kaum mehr gefunden. Jedoch bildet sie z. B. im Genfersee im unteren Becken noch immer diese Massenvorkommen aus. Im Neuenburgersee wurden die grossen Vorkommen in den Nuller Jahren von verschiedenen Algen ausgebildet.



Im August 2006 wurde ein Massenvorkommen einer kleinen Jochalge (*Conjugatophyceen*) der Gattung *Cosmarium* im Murtensee beobachtet. Fast die ganze Biomasse wurde alleine durch diese Alge gebildet und erreichte über 16g/m^2 .



Das rostige Fadenknäuel ist das Bakterium *Leptothrix echinata*. In Seen, die während der sommerlichen Stagnationsphase über dem Sediment sauerstoffarm werden, finden diese Eisenbakterien in der Grenzschicht zwischen sauerstofffrei und sauerstoffhaltig ihren Lebensraum. Beginnt im Spätherbst die Zirkulation, werden diese Bakterien im ganzen Wasserkörper verteilt.

Tab. 2 Beurteilung der Veränderung der Biomasse der einzelnen Phytoplanktongruppen im Zeitraum 2008 - 2018 aufgrund der Jahresmittelwerte [g/m^2]: ++ deutliche Zunahme, + leichte Zunahme, 0 keine Veränderung (Schwankungen möglich), - leichte Abnahme, -- deutliche Abnahme, x keine oder nur vereinzelte Beobachtungen

	BRZ	THU	BIE	NEU	MUR
Gesamt-Biomasse	0	0	-	0	--
<i>Cyanophyceae</i>	0	0	0	-	+
<i>Chrysophyceae</i>	-	-	-	-	--
<i>Bacillariophyceae</i>	0	0	-	+	-
<i>Haptophyceae</i>	-	-	-	0	-
<i>Dinophyceae</i>	+	+	+	+	0
<i>Cryptophyceae</i>	+	+	-	+	--
<i>Chlorophyceae</i>	-	-	-	+	--

Diese Abschätzung ist sehr grob und versucht auch die Änderungen der Probenahmetiefe zu berücksichtigen.

7.6.5 Indikatortaxa in den 5 Seen

Die in den fünf Seen gefundenen Taxa wurden soweit vorhanden einem Trophieankerwert und einem Stenökiewert zugeordnet (Tabelle 3.3.2, Anhang 3.3). Diese Zuordnung wird für den im nächsten Kapitel beschriebenen PSI (Phyto-See-Index) benötigt, erlaubt aber auch einige weitere Aussagen und Vergleiche für die fünf Seen.

Wird die Anzahl der innerhalb eines Jahres gefundenen Taxa eines Sees aufsummiert, liegt der Anteil der Indikatortaxa zur Gesamtzahl eines Jahres zwischen 20 - 30 % und bleibt in den fünf Seen während der Untersuchungsperiode 1994 bis 2018 recht ähnlich (Abb. 28).

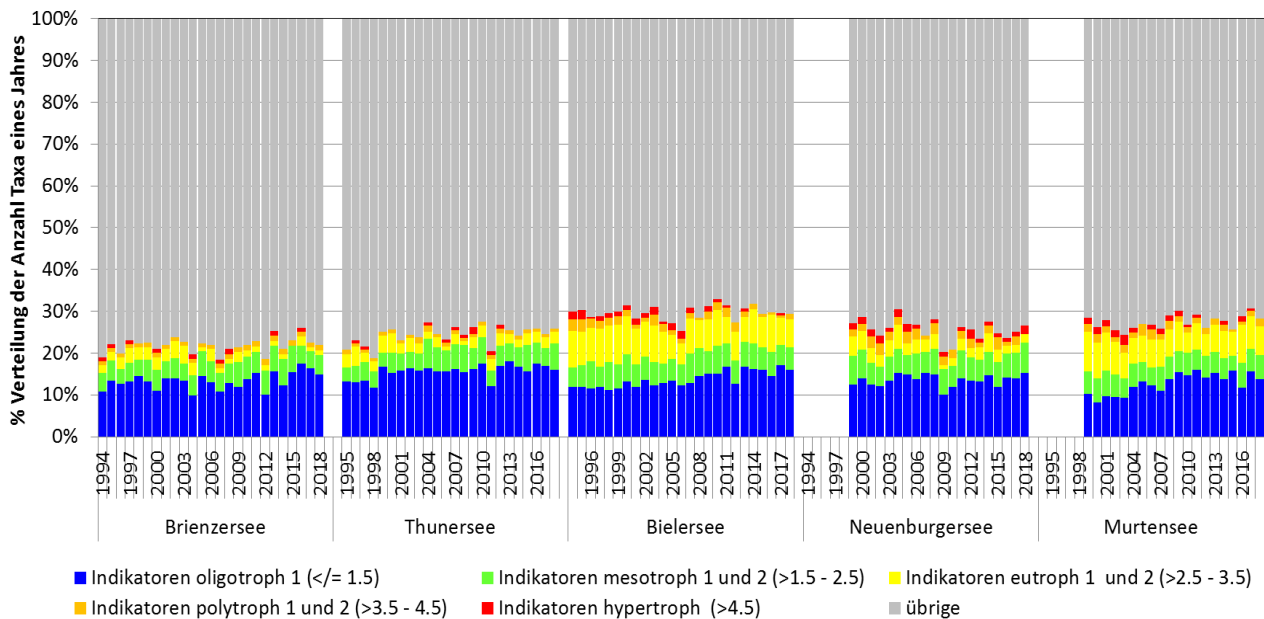


Abb. 28 Anteil der Indikatortaxa an der Gesamtzahl der gefundenen Taxa eines Jahres.

Innerhalb der Indikatortaxa änderten im Verlauf der Untersuchungsperiode die Anteile der Indikatortaxa in den Juraseen je nach Trophiestufe (Abb. 29). Der Anteil der oligotrophen Indikatortaxa nahm auf Kosten polytrophen und hypertropher Indikatortaxa zu und liegt in Bieler- und Neuenburgersee nun bei rund 50%. Im Murtensee schwankt der Anteil zwischen 40 und 50 %. Deutlich zu erkennen ist auch noch der recht grosse Anteil der eutrophen Indikatortaxa in Bieler- und Murtensee. So erreichen die oligotrophen und mesotrophen Indikatorarten in diesen beiden Seen einen gemeinsamen Anteil von rund 65%. Im Neuenburgersee erreicht er in den letzten drei Jahren bereits einen Anteil von 80 %.

Dies entspricht dem Anteil der oligotrophen und mesotrophen Indikatortaxa in Thuner- und Brienzersee. In diesen beiden Seen liegt der Anteil der oligotrophen Indikatortaxa seit 1994 bei rund 60%. Die mesotrophen Indikatoren konnten leicht auf Kosten von eutrophen Indikatortaxa zulegen.

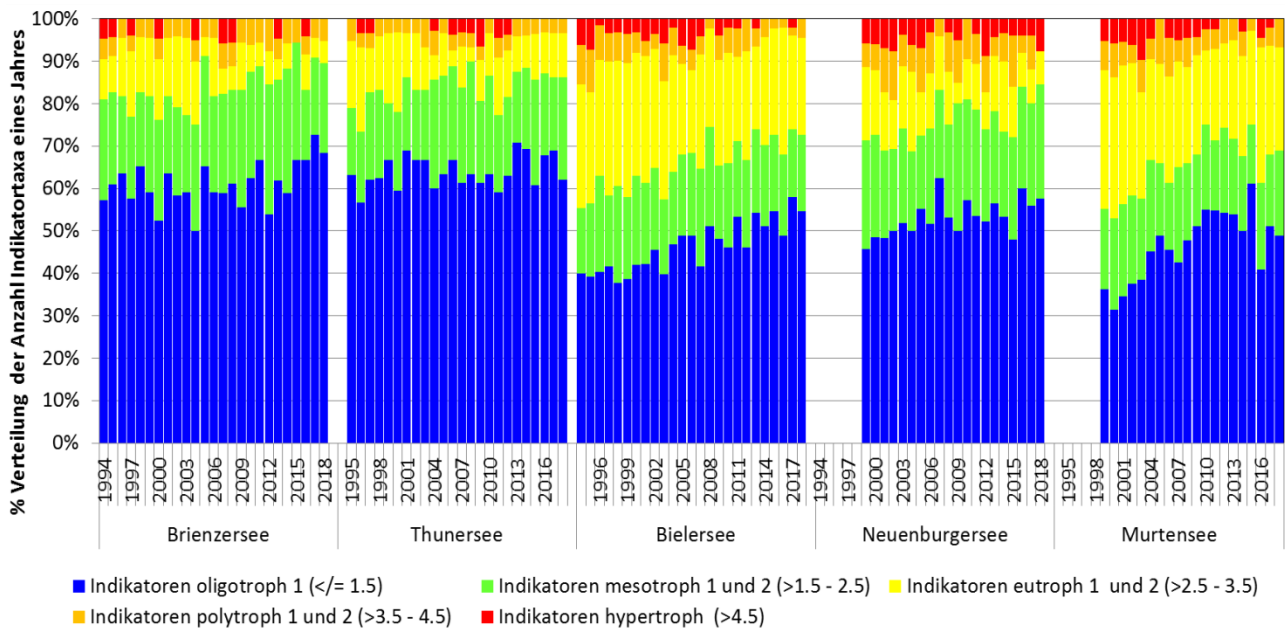


Abb. 29 Anteil der Indikatortaxa einzelner Trophiestufen an der Gesamtzahl der gefundenen Indikatortaxa eines Jahres.

Diese Verschiebungen wirkten sich zum Teil ebenso deutlich in der Biomasseverteilung der Indikatortaxa aus (Abb. 30). Die Schwankungen sind jedoch grösser. Interessanterweise zeigt sich in Bieler- und Murtensee vor allem eine Zunahme des Biomassanteils der oligotrophen Indikatorarten.

In Thuner- und Brienzersee ist der Biomassenanteil der oligotrophen und mesotrophen Indikatortaxa bereits zu Beginn der Untersuchungsperiode bei deutlich über 90% der Gesamtbiomasse der Indikatortaxa. Zur aufsummierten Biomasse aller Algentaxa tragen die Indikatortaxa aber ausser im Neuenburgersee nicht mehr als 30% bei. Im Neuenburgersee erreichten sie vor allem zu Beginn der Untersuchungsperiode über 50%, da der damals in Massen vorkommende Blaualge *Planktothrix rubescens* ein Trophieankerwert von 1.0 (oligotroph) zugeordnet ist.

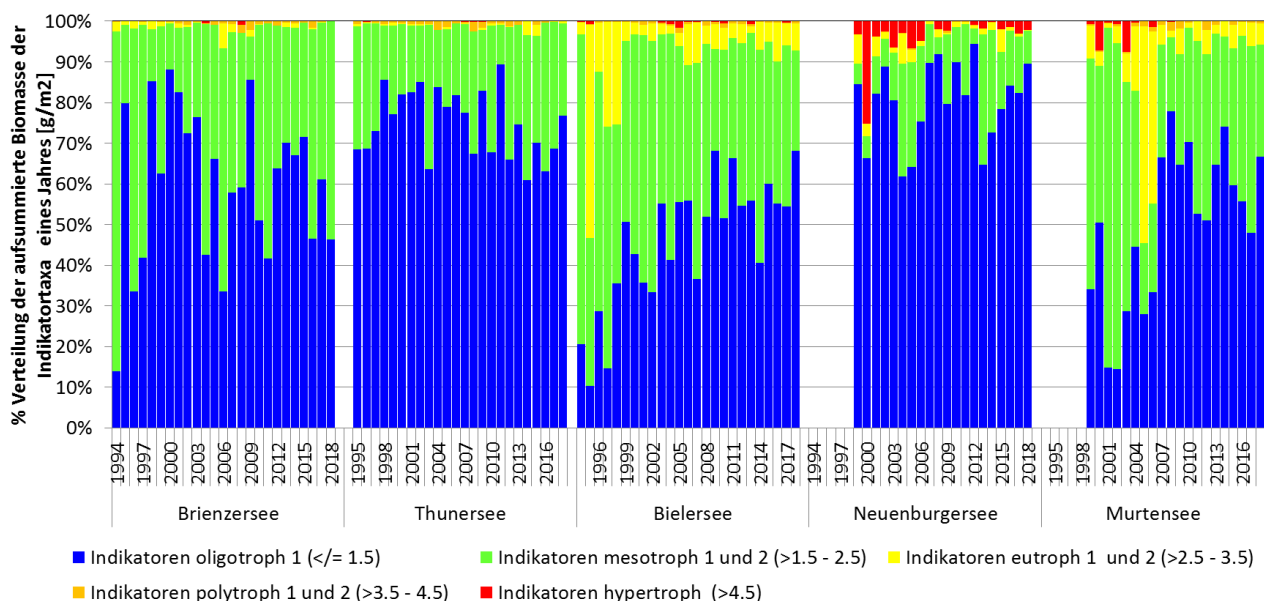


Abb. 30 Anteil Indikatortaxa einzelner Trophiestufen an der aufsummierten Gesamtbiomasse der gefundenen Indikatortaxa eines Jahres [g/m²].

7.6.6 Phyto-See-Index PSI

7.6.6.1 Berechnung des Phyto-See-Index PSI

In Deutschland wurde im Rahmen der Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie eine Methode zur Bewertung der Gewässergüte von Seen auf der Basis des Phytoplanktons entwickelt, die nach Praxistests in verschiedenen deutschen Bundesländern 2008 erstmals publiziert wurde (MISCHKE & NIXDORF, 2008). Im Dezember 2017 wurde die neueste Version des Handbuchs veröffentlicht (Mischke et al., 2017). Zudem steht das frei zugängliche Bewertungstool PhytoSee 7.0 zur Verfügung, das jedoch für diesen Bericht nicht verwendet wurde.

Die Seen werden aufgrund morphometrischer Daten unterschiedlichen Referenzseetypen zugeordnet (MATHES et al. 2002, RIEDMÜLLER et al., 2013) (Tab. 3).

Tab. 3 Typisierungskriterien zur Zuordnung der Seen zu den Phytoplankton-Seetypen der Ökoregion Alpen/Voralpen (AVA) und den LAWA-Seetypen nach Mathes et al. (2002). Die obligaten Kriterien sind fett und farbig hinterlegt, alle weiteren können zur Plausibilisierung der Einstufung verwendet werden) (aus MISCHKE et al. 2017)

Phyto-plankton-Seotyp	LAWA-Seotyp nach MATHES et al (2002)	Ökoregion	Calcium-Gehalt	Schichtung	VQ Grenzen [m ² /m ³] mit aufsummierte m EZG	VTQ-Grenzen [m-2]	mittlere Tiefe [m]	maximale Tiefe [m]	Theoretische Verweilzeit T
1	1	AVA	calcium-reich	poly	alle VQ		0.8-4	2-10	
2	2	VA		geschichtet	>1.5		4-12	10-40	
3	3	VA		geschichtet	≤1.5		7-15	12-40	
4	4	A		geschichtet	alle VQ		15-100	20-200	

Alle fünf Seen wurden aufgrund der morphometrischen Kriterien und der Expertenmeinung dem Typ 4, geschichteter Alpensee zugeordnet:

See-Code	Phyto-plankton-Seotyp	LAWA-Seotyp nach MATHES et al (2002)	Ökoregion	Calcium-Gehalt	Schichtung	aufsummiertes EZG [m ²]	Mittlere Höhe EZG [m ü.M.]	Maximale Höhe EZG [m ü.M.]	Volumen [m ³]	VQ Grenzen [m ² /m ³] mit aufsummiertem EZG	VTQ-Grenzen [m-2]	mittlere Tiefe [m]	maximale Tiefe [m]
	1	1	AVA	calcium-reich	poly					alle VQ		0.8-4	2-10
	2	2	VA		geschichtet					>1.5		4-12	10-40
	3	3	VA		geschichtet					≤1.5		7-15	12-40
	4	4	A		geschichtet					alle VQ		15-100	20-200
BRZ	4	4	A	calcium-reich	geschichtet	1.13E+09	1'938	4'262	2.98E+10	0.0381		172	259
THU	4	4	A		geschichtet	3.59E+09	1'735	4'262	4.77E+10	0.0752		136	217
BIE	4	4	A		geschichtet	8.21E+09	1'139	4'262	3.78E+10	0.2172		29	74
NEU	4	4	A		geschichtet	2.64E+09	753	1'678	2.15E+11	0.0123		64	153
MUR	4	4	A		geschichtet	6.97E+08	641	1'513	2.27E+10	0.0307		23	45

Je nach Referenztyp werden zwar die gleichen Metrics berechnet, aber es werden unterschiedliche Ausgangsdaten berücksichtigt und es wird unterschiedlich gewichtet. Der Phyto-Seen-Index (PSI) erlaubt die Klassifizierung des Gewässers in eine von fünf Zustandsklassen nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Der PSI berechnet sich zwingend aus den folgenden **3 Hauptmetrics**:

1 Metric Biomasse

- **Gesamtbiolumen** des Phytoplanktons aus dem Epilimnion bzw. in Klarwasserseen aus der euphotischen Zone (arithmetisches Saisonmittel der Periode März bis November (Minimum 6 Probedaten, gleichmässig über den Zeitraum verteilt).
- **Chlorophyll-a-Konzentrationen** (arithmetisches Saisonmittel März bis November).
- **Maximum-Wert von Chlorophyll-a**, falls dieser um 25% grösser ist als das Saisonmittel.

2 Metric Algenklasse

- Für den Seetyp 4 der Ökoregion werden aus den aufsummierten Biomassen (Cyanophyceae, Cryptophyceae) oder dem prozentualen Anteil an der Gesamtbiomasse (Dinophyceae) die arithmetischen Saisonmittel (März-November) gebildet. Daraus errechnen Seetyp-spezifische Funktionen eine Bewertungsgrösse.

3 Metric Phytoplankton-Taxa-Seen-Index (PTSI)

- Der auf Indikatorarten basierende PTSI wird für jeden Probenbefund berechnet. Der PTSI pro Jahrgang basiert auf dem arithmetischen Jahresmittelwert.
- Der PTSI dient zunächst der trophischen Einstufung von Seen anhand der Artenzusammensetzung. Die Werteskala des PTSI entspricht derjenigen des LAWA-Index. Für die Berechnung des PTSI werden nur Indikatortaxa berücksichtigt. Von den 466 Taxa, die in den fünf Seen gefunden wurden (Tabelle 3.3.1, Anhang 3.3) sind 111 als Indikatortaxa in der Liste für Seen der Ökoregion AVA aufgeführt (Seetyp 1-4) (Indikatorliste, Anhang 3.3).

Die Zusammenführung der Einzelergebnisse obiger drei Metrics zu einem Gesamtergebnis (dem PSI) erfolgt durch gewichtete Mittelwertbildung. Mit den errechneten PSI-Werten erfolgt dann die Zuordnung zu einer ökologischen Zustandsklasse nach WRRL.

Bemerkungen zur Methode:

Die Methode und Bewertung nach dem Phyto-See-Index wurde bereits für den Bericht von 2009 angewendet, allerdings nach der damals aktuellen Version. Deshalb sind die Resultate mit der neuen Version nicht direkt vergleichbar. Die Methode ist aufwändig, könnte aber bei häufigerer Anwendung durch die methodenspezifische Software *PhytoSee* 7.0 z.T. automatisiert werden.

7.6.6.2 Die Entwicklung des Phyto-See-Index PSI

Die Entwicklung des PSI in den fünf untersuchten Seen zeigt, dass in den letzten 24 (BIE, BRZ, THU) bzw. 20 Jahren (NEU, MUR) die chemisch-physikalische Zustandsbewertung durch die Bewertung basierend auf Analysen des Phytoplanktons gestützt wird (Abb. 31).

Der Zustand des Brienzersee kann ebenso wie derjenige des Thunersees als sehr gut bezeichnet werden. Sie erreichten diesen Zustand beide bereits vor mehr als 20 bzw. vor rund 10 Jahren.

Die Resultate der drei Juraseen zeigen eine mehr oder weniger stetige Verbesserung des ökologischen Gewässerzustandes in den letzten 20 Jahren. Der Neuenburgersee ist seit Mitte der Nuller Jahre in einem guten Zustand. Der Bielersee wechselte je nach Jahr noch zwischen mässig und gut. Der Murtensee hat sich deutlich verbessert. Sein Zustand ist seit Mitte der Nuller Jahre mässig und erreichte 2018 erstmals eine gute Bewertung.

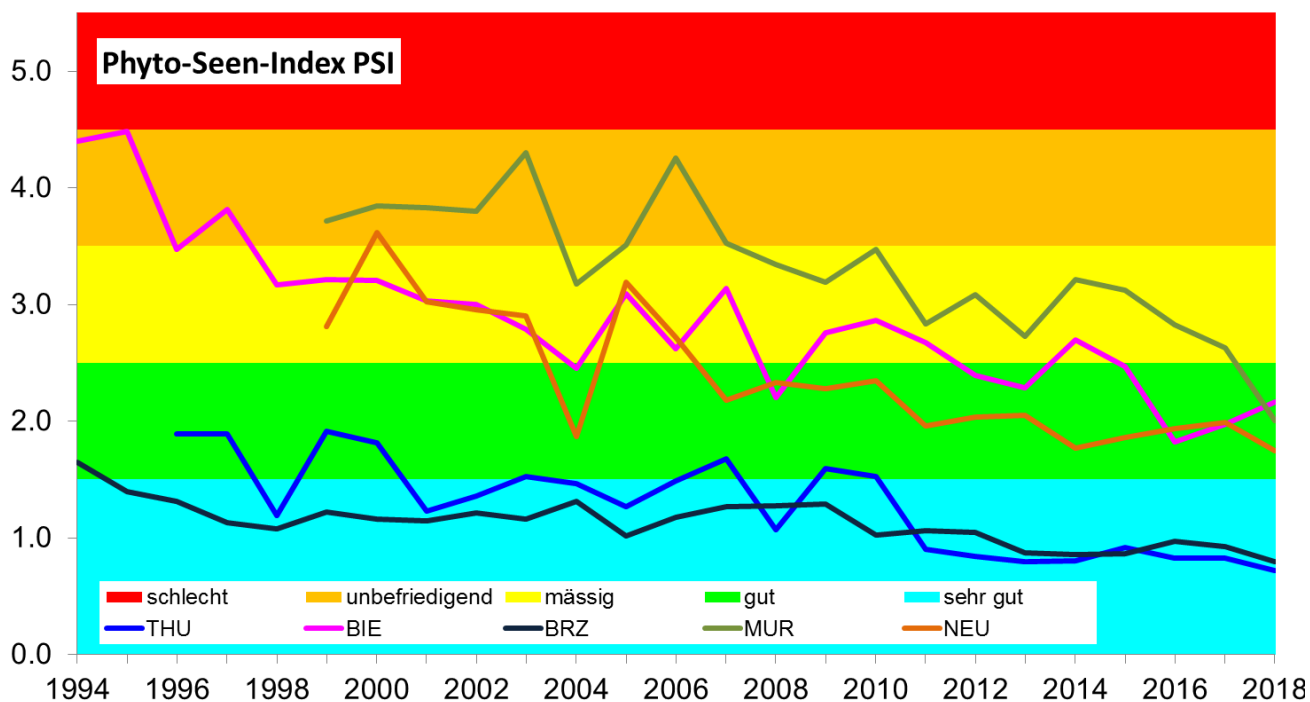


Abb. 31 Phyto-See-Index (PSI) der fünf untersuchten Seen über die Untersuchungsperiode 1994 - 2018

Wie weit sich diese Entwicklung in den Juraseen fortsetzt, ist noch ungewiss. Das gute Resultat von 2018 ist vermutlich auf die lange Trockenperiode zurückzuführen, so dass aus dem Einzugsgebiet Nährstoffabschwemmungen bei Hochwasser fehlten.

Wie sich der Klimawandel auf die Seen auswirken wird, bleibt abzuwarten.

7.7 Diskussion Phytoplankton

Die Algenzusammensetzung eines Sees ist geprägt durch eine Reihe ökologisch relevanter Parameter. Geografische und geologische Steuerfaktoren des Einzugsgebietes sowie die Morphometrie des Seebeckens liefern die von der Natur vorgegebenen Rahmenbedingungen, welche den Temperaturverlauf und damit auch das Zirkulationsverhalten (Kapitel 3) beeinflussen. Diese Parameter sind natürlicherweise sehr langsamen, in einem Menschenleben kaum merkbaren Änderungen unterworfen. Sie geben jedem der fünf Seen einen gewissen Grundcharakter, der ihn in seinen Reaktionen gegenüber ändernden Umweltbedingungen einmalig macht. Die Klimaerwärmung, welche bereits die durchschnittlichen Wassertemperaturen vieler Fließgewässer, insbesondere von Seeausflüssen unserer Region, erhöht hat (JAKOB, A. & FONTANA, F. et al. 2016), dürfte sich weiterhin auf den Wärmehaushalt und damit auch auf das Zirkulationsverhalten der Seen auswirken.

Die als langfristig stabil angenommenen Rahmenbedingungen werden durch anthropogene Einflüsse, wie beispielsweise den Nährstoffeintrag durch die Landwirtschaft und Siedlungs-entwässerung, überlagert. Seit Mitte der 1980er-Jahre, und etwas weniger stark in den letzten 24 Jahren (Untersuchungszeitraum dieses Berichtes), haben die Phosphat-Konzentrationen während der Zirkulationsphase generell in allen Seen abgenommen. Eine Reaktion der Phytoplankton-biomasse wurde allgemein erwartet, doch reagierten die Seen unterschiedlich.

Brienzer- und Thunersee weisen ähnliche Abnahmen auf heute sehr tiefe Phosphatwerte ($< 0.5 \mu\text{g P/I}$ Zirkulationswert) auf. Parallel dazu sank auch die Gesamtbiomasse des Phytoplanktons bis 2012, in diesem Jahr wurden die Probenahmetiefen von 0-20 m auf 0-40 m vergrössert. Seither ist das Jahresmittel im Brienzersee auf tiefem Niveau und im Thunersee auf etwas höherem Niveau mehr oder weniger stabil geblieben. Dabei ist zu berücksichtigen dass die Gesamtbiomasse die *standing crop* und nicht die Produktion widerspiegelt. Daten zur Primärproduktion liegen nur für den Brienzersee vor. Diese ist etwa halb so gross wie z. B. diejenige des Vierwaldstättersees (BVE-VOL 2006), obwohl die Phosphatgehalte beider Seen vergleichbar sind. Der Thunersee ist, analog dem Vierwaldstättersee, sehr klar und die trophogene Zone reicht während des ganzen Jahres tiefer hinunter als im Brienzersee, welcher durch mineralische Schwebstoffe getrübt wird. Da im Thunersee die Wassertemperaturen der oberflächennahen Schichten ebenfalls wärmer als im Brienzersee sind, ist auch die Primärproduktion im Thunersee höher. Die Basis der Nahrungspyramide im Thunersee ist damit breiter als im Brienzersee, was sich in grösseren Zooplanktonbiomassen und Fischfangerträgen niederschlägt.

Im **Murtensee** sind die Gesamtposphor- und Phosphatkonzentrationen seit Beginn der Nuller Jahre auf $\pm 20 \mu\text{g P/I}$ gesunken. Die Gesamtbiomasse des Phytoplanktons hat in den letzten 10 Jahren deutlich abgenommen. Wir gehen davon aus, dass die extrem hohen Biomassen zu Beginn des Jahrtausends auftraten, weil die trophogene Zone sich in grössere Tiefen ausdehnen konnte, womit sich die für das Phytoplankton nutzbare Wassertiefe vergrössert hatte. Das Phytoplankton im Murtensee konnte in diesen Jahren also ebenso hohe oder höhere Biomassen erreichen, wie unter den früheren, noch nährstoffreicheren Bedingungen. Erst in den letzten 10 Jahren sind die Nährstoffbedingungen so verändert, dass trotz besserer Lichtbedingungen bis in grössere Tiefen, die hohen Biomassen früherer Jahre nicht mehr erreicht werden.

Seit 1999 sind auch im **Neuenburgersee** die Gesamtposphor- und Phosphatgehalte unter $10 \mu\text{g/l}$ gesunken. Das Jahresmittel der Gesamtbiomasse reduziert sich seit Mitte der Nuller Jahre. In diesem See nahm die mittlere Jahresbiomasse nach Vergrösserung der Probenahmetiefe von 0-20 m auf 0-40 m sehr deutlich zu und ist in den letzten 7 Jahren mehr oder weniger stabil. Die Algen verteilen sich wegen der besseren Lichtverhältnisse über ein grösseres Tiefenspektrum, das nun erfasst werden kann. Sehr auffällig ist jedoch das fast vollständige Verschwinden der Blaualge *Planktothrix rubescens*. Diese Algenart verzeichnete bis 2004, als der Phosphorgehalt erstmals unter $10 \mu\text{g P/I}$ sank, den grössten Anteil an der Biomasse. *P. rubescens* ist eine Schwachlichtart, die in stabil geschichteten Seen im Metalimnion häufig auftritt. Allerdings müsste sie sich noch tiefer als in 40 m einschichten, aufgrund der Fluorometer-Profile konnten jedoch keine Hinweise einer grösseren Biomasse in diesen Tiefen gefunden werden.

Im **Bielersee** zeigte das Jahresmittel der Gesamtbiomasse des Phytoplanktons bis 2007 keine merklichen Änderungen. Erst danach setzte eine Abnahme des Jahresmittels der Gesamtbiomasse ein, obschon auch hier die Probenahmetiefe 2012 von 0-15 auf 0-20 m vergrössert wurde. Das heisst der ständige Nährstoffnachschub aus der Aare insbesondere während der Hauptvegetationszeit im Sommer hat soweit abgenommen, dass die Biomasse nur noch selten sehr hohe Werte erreicht.

Die Resultate zeigen, dass sich die Seen in den letzten 24 bzw. 19 Jahren unterschiedlich entwickelt haben. In Murten- und Bielersee nahmen die Jahresmittel der Gesamtbiomasse sehr deutlich ab. In Briener- und Thunersee haben sich die Jahresmittel seit der Vergrösserung der Probenahmetiefe auf dem vorhergehenden Niveau mehr oder weniger stabilisiert, ebenso im Neuenburgersee jedoch auf einem deutlich höheren Niveau als vorher.

Dass Thuner- und Brienersee in den letzten 24 Jahren in einer eher stabilen Phase sind, zeigt sich auch bei der Verteilung der Indikatortaxa der verschiedenen trophischen Stufen. Seit Beginn der Untersuchungsperiode sind die Anteile der Anzahl der oligotrophen und mesotrophen Taxa mehr oder weniger gleich geblieben ebenso wie ihr Anteil an der Biomasse pro Jahr. In den drei Juraseen nahm die Zahl der oligotrophen Taxa hingegen deutlich zu und die der hypertrophen und polytrophen ab. In Bieler- und Murtensee zeigt sich das auch in den Biomassen dieser Indikatortaxa, die ebenfalls einen zunehmend grösseren Anteil an der Biomasse der Indikatortaxa eines Jahres aufweisen. Die Berechnung des Phyto-See-Index (PSI) belegt die Unterschiede ebenfalls. Thuner- und Brienersee sind in einem gewässerökologischen sehr guten Zustand, das heisst sie haben bezüglich des Phytoplanktons den ökologisch "erwünschten" Referenzzustand "oligotroph" seit mehreren Jahren erreicht.

Bieler- und Neuenburgersee weisen den PSI "gut" seit einigen Jahren auf. Selbst der Murtensee erreichte diesen Zustand 2018. Jedoch ist ebenso klar zu erkennen, dass sich in den letzten 24 bzw. 19 Jahren die Seen sehr stark änderten.

Ob sich diese Entwicklung in gleicher Richtung fortsetzen wird, ist aufgrund des zunehmenden Einflusses des Klimawandels (Erwärmung, Zunahme extremer Wetterereignisse) ungewiss. Ebenso gilt dies für Thuner- und Brienersee, die bis jetzt dank "Gletscherschwund" noch kühles Wasser im Sommer aufweisen. Fehlen diese Zuflüsse oder sind sie in den heissen Sommermonaten stark vermindert, ändern sich die Bedingungen für das Phytoplankton grundlegend und somit für die ganze Biozönose der Seen.

Der Nutzen von über längere Zeitperioden erhobenen Phyto- und Zooplanktondaten liegt in der Dokumentation der Reaktion von aquatischen Biozönosen auf langfristige Veränderungen der gemeinhin als stabil angenommenen natürlichen Rahmenbedingungen (siehe oben) sowie der anthropogen beeinflussten Wasserqualität. Als unmittelbar mit dem Umgebungsmedium Wasser in Kontakt stehende Organismen sind die Planktonlebensgemeinschaften prädestiniert, im Sinne von Bioindikatoren, auf sich ändernde Umgebungsbedingungen zu reagieren. Die Algen können diese Rolle zwar nicht in jedem strikten Sinn spielen, wie dies z.B. gewisse terrestrische Pflanzenarten können, da ihre ökologischen Nischen breiter sind. Die sich im Verlaufe des Jahres ständig ändernden meteorologischen Einflüsse (primär Sonneneinstrahlung, Temperatur, Wind und Niederschlag) führen auch dazu, dass sich das Plankton von Jahr zu Jahr unterschiedlich entwickelt. Daher ist ein langjähriger und mit vergleichbarer Methodik erhobener Planktondatensatz die Grundvoraussetzung für fundierte Analysen und Aussagen. Auch wenn dieser Grundlagendatenerhebung wegen der Kosten und des fehlenden unmittelbaren Nutzens manchmal Kritik entgegengebracht wird, stellen die Phyto- und Zooplanktonuntersuchungen in den grossen Seen einen wichtigen Bestandteil in der Umweltbeobachtung der Schweiz dar. Aussagen über die Entwicklung des Seezustandes und eine auf Fakten beruhende Interpretation der heutigen Situation können nur gemacht werden, wenn entsprechende Langzeitdaten vorhanden sind.

8 Crustaceenplankton

8.1 Einleitung

8.1.1 Ausgangslage und Ziele

Das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern (GBL) untersucht das Crustaceenplankton von Bieler-, Thuner- und Brienersee seit 1994. Zudem ist es auch an der Untersuchung von Murten- und Neuenburgersee beteiligt, die nach der gleichen Methoden erhoben und ausgewertet werden. Für die meisten Seen existieren Daten aus verschiedenen früheren Untersuchungen.

Eine Gesamtauswertung der Daten kann jetzt wertvolle Informationen einerseits über den Zustand der Seen, andererseits aber auch für den Aufbau und die Fortführung der Untersuchungsprogramme liefern.

Die Auswertung der Crustaceenplankton-Untersuchungen soll die folgenden Informationen darstellen:

- Charakterisieren der verschiedenen wichtigen Crustaceen-Arten im Plankton der Berner Seen einerseits mit Literaturdaten und andererseits durch Untersuchungsdaten (Populationsdynamik).
- Charakterisieren der 5 Seen über die Zusammensetzung ihres Crustaceenplanktons.
- Zeigen der seespezifischen Entwicklung durch den Vergleich mit früheren Resultaten.
- Bedeutung der Crustaceen im Ökosystem See in der Nahrungskette und in der Untersuchung des Seen-Zustands: Aussagewert der Crustaceen-Untersuchungen.

8.1.2 Charakterisierung des Zooplanktons

Neben dem Phytoplankton (pflanzliches Plankton, Algen) und dem Bakterienplankton (Mikroorganismen) bildet das Zooplankton (tierisches Plankton) den dritten grossen Bestandteil des Planktons unserer Seen.

Das Zooplankton setzt sich aus verschiedenen Tiergruppen zusammen:

- **Insektenlarven:** einzelne Vertreter von Insekten leben während einer gewissen Zeit im Plankton (z.B. *Chaoborus sp.*).
- **Crustaceen** (Krebstiere): Viele Vertreter der Kleinkrebse (vgl. Kap. 8.2.1) leben meist dauernd im Plankton (einzelne Arten machen Ruhephasen im Benthos).
- **Rotatoria** (Rädertiere) sind typische Vertreter des Süsswasserplanktons, kommen aber auch in allen andern wasserhaltigen Lebensräumen vor. Sie sind meistens fast durchsichtig und 0.04 bis 3 mm gross.
- **Hydrozoa** (Nesseltiere). Mit der Süsswasserseduse tritt vermehrt auch ein Vertreter der Nesseltiere im Plankton unserer Gewässer auf.
- **Protozoa** (Urtiere, Einzeller): Ein wesentlicher aber kaum sichtbarer Bestandteil des Zooplanktons bilden die Einzeller (z.B. Ciliata - Wimpertierchen, Heliozoa - Sonnentierchen).

Zeitweise können auch Vertreter anderer Tiergruppen im Plankton auftreten, beispielsweise die Larven der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*).

Die vorliegende Untersuchung umfasst nur das Crustaceenplankton mit den Hauptgruppen Copepoda und Cladocera, dies mit der folgenden Begründung:

- Die Crustaceen sind methodisch relativ leicht und damit günstig zu erfassen: Fang mit Schliessnetz, fixieren mit Formalin 4% ohne Zerstörung der Tiere, Proben sehr lange haltbar (> 50 Jahre). *Rotatoria* und *Ciliata* brauchen eine relativ aufwändige Probenahme und werden bei der Fixierung meist stark verformt oder zerstört.

- Die Crustaceen weisen eine relativ lange Generationszeit auf (häufig 1 Jahr) und können deshalb bei monatlicher Probenahme relativ gut erfasst werden. Rotatoria und Ciliata müssen zur Erfassung der Populationsentwicklung sehr häufig beprobt werden.
- Die Crustaceen bilden die Hauptnahrungsgrundlage der planktonfressenden Fischarten in unseren Seen (Felchen).

8.1.3 Datengrundlagen

Für den vorliegenden Bericht wurden die folgenden Daten ausgewertet.

Untersuchungen des Gewässer- und Bodenschutzlabors des Kantons Bern:

• Bielersee:	1994-2003	monatliche Proben	0 - 10/10 - 70 m
	2004-2018	monatliche Proben	0 - 70 m
• Thunersee	1994/95	2 Proben (Feb, Okt)	0 - 20/20 - 100 m
	1996-2003	monatliche Proben	0 - 20/20 - 100 m
	2004-2018	monatliche Proben	0 - 100 m
• Brienersee	1994	4 Proben (Sep-Dez)	0 - 20/20 - 100 m
	1995-2003	monatliche Proben	0 - 20/20 - 100 m
	2004-2018	monatliche Proben	0 - 100 m

Diese Proben wurden durch Vinzenz Maurer (GBL) ausgezählt. Die Resultate sind in der Datenbank des GBL gespeichert und können sowohl als Individuenzahlen (Ind./m³, Ind./m²) wie auch als Biomassen (mg/m² Frischgewicht) dargestellt werden.

Untersuchungen der Kantone Freiburg und Neuchâtel:

• Murtensee:	1999-2018	monatliche Proben	0 - 40 m
• Neuenburgersee	1999-2018	monatliche Proben	0 - 140 m

Die Proben wurden durch Heidi Berner (Lenzburg) ausgezählt und ebenfalls in der Plankton-Datenbank des GBL ausgewertet.

8.1.4 Literatur

- Ökologie der planktischen Crustaceen. HYDRA, V. Maurer, 1996/97. Interner Bericht für das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.
- Die Produktionsbiologie von Bieler- und Neuenburgersee 1987 - 1988. V. Maurer, 1992, Dissertation Uni Bern.
- Brienersee: Artzusammensetzung und trophische Struktur des Planktons in einem trübstoffbelasteten oligotrophen See. M. Pfunder, 1994, Diplomarbeit EAWAG.
- Limnologische und ichtyologische Untersuchungen im Brienersee unter besonderer Berücksichtigung der Differenzierung der sympatrischen Felchenpopulation. A. Kirchhofer, 1990, Dissertation Uni Bern.
- Kleinseen im Kanton Bern. J. Guthruf et al., 1999, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.
- Abundanzdynamik und Produktion der planktischen und benthischen Mikrocrustaceen im Litoral des Bielersees. Th. Vuille, 1990, Dissertation Uni Bern.
- Seasonal variations in the trophic structure of phyto- and zooplankton in lakes in different trophic states. H.R. Bürgi et al.. (1985). Schweiz. Z. Hydrol. 47: 197 - 224.
- Crustaceenplankton der grossen Berner Seen. Auswertungen 1994 - 1998. HYDRA, V. Maurer, 1999, interner Bericht Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.

- Crustaceenplankton 1994 - 2007 in Brienzer-, Thuner-, Bieler-, Neuenburger- und Murtensee. HYDRA, Vinzenz Maurer (2009) im Auftrag von. AWA Amt für Wasser und Abfall BE, Service cantonal de la protection de l'environnement NE, Service de l'environnement FR.
- Vladimir B. Verbitsky, et. al., 2018: The preferred and avoidance temperatures of *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853) and their relation to the temperature of optimal, pessimal and normal performance of the species. *Journal of Thermal Biology*, Volume 78, December 2018, Pages 106-113

Bestimmungsliteratur

- Benzie, J.A.H. (2005): Cladocera: the genus *Daphnia*. Guides to the identification of Microinvertebrates of the continental waters of the world 21. Backhuys Publishers, Leiden.
- Dumont, H.J., Negrea, S.V. (2002): Introduction to the class Branchiopoda. Guides to the identification of Microinvertebrates of the continental waters of the world 19. Backhuys Publishers, Leiden.
- Dussart, B.H., Defaye, D. (2001): Introduction to the Copepoda. Guides to the identification of Microinvertebrates of the continental waters of the world 16. Backhuys Publishers, Leiden.
- Einsle, U. (1993): Crustacea, Copepoda, Calanoida und Cyclopoida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa Band 8/4-2, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Flössner, D. (1972): Kiemen- und Blattfüsser, Branchiopoda, Fischläuse, Branchiura. Tierwelt Deutschlands 60. Teil. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Herbst, H.V. (1962): Blattfusskrebse. Kosmos, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Janetzky, W., Enderle, R., Noodt, W. (1996): Crustacea, Copepoda, Harpacticoida, Gelyelloida. Süßwasserfauna von Mitteleuropa Band 8/4-1, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kiefer, F. (1960): Ruderfusskrebse. Kosmos, Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Kiefer, F., Fryer G. (1978): Das Zooplankton der Binnengewässer, 2. Teil, Freilebende Copepoda. Die Binnengewässer, Band XXVI, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung.
- Lieder, U. (1996): Crustacea, Cladocera, Bosminidae. Süßwasserfauna von Mitteleuropa Band 8/2-3, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

8.1.5 Untersuchungsmethoden

Probenahme

Die Probenahme erfolgte mit einem Doppelschliessnetz mit Maschenweite 95 µm. Netzdurchmesser und Probenahmetiefe sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 4 Probenahme und Netze

See	Netzdurchmesser	Probenahmetiefe	Max. Seetiefe
Brienzersee	17 cm	0 - 100 m	259 m
Thunersee	17 cm	0 - 100 m	217 m
Bielersee	12 cm	0 - 70 m	74 m
Neuenburgersee		0 - 140 m	153 m
Murtensee	12 cm	0 - 40 m	45 m

Die Proben wurden als Gesamtprobe in PVC-Flaschen (100ml) mit 4% Formalin fixiert.

Bestimmung

Vorbereitung:

- Auswaschen der Proben mit Leitungswasser in Sieb (Maschenweite 95 µm),
- Aufteilen von „grossen“ Proben in Sedimentationszylinder mit 4er-Teilung (1 bis 3 Teilungsschritte) so dass minimal ca. 1000 Individuen (Gesamt) gezählt werden müssen.

Zählung:

- unter Wild Binokularlupe mit 25-facher Vergrösserung in Zählkammer;
- Zählkategorien gemäss Protokollblatt im Anhang A1;
- Bestimmung morphologisch mit Bestimmungsliteratur gemäss Kap. 1.3;
- bei schwierig bestimmbaren Arten werden wichtige Körperteile präpariert oder ganze Individuen unter dem Mikroskop untersucht.

Archivierung:

- Die ausgezählten Proben werden anschliessend in 20ml Glasfläschchen mit 4% Formalin archiviert und in die Probendatenbank aufgenommen. Die älteren Proben stehen im Archiv des GBL und vielleicht zukünftig im Naturhistorischen Museum Bern.

Datenbank/Auswertung

Die Daten werden in einer Exceltabelle (1 Datei pro Probe) erfasst, die Zahlen umgerechnet auf Individuen pro m³ sowie Individuen und Biomasse pro m².

Die benötigten Individualgewichte (Frischgewicht) stammen aus Trockengewichtsbestimmungen am Bieler- und Neuenburgersee von 1987 -19892 sowie aus Volumen-Angaben der EAWAG.

Die Exceldatei wird im GBL in die Planktondatenbank importiert.

Für die vorliegende Auswertung wurde aus der Datenbank ein Auszug erstellt, sowohl für Biomasse wie für Individuen pro m² über die ganze Probenahmetiefe. Daraus wurden über eine Excel-Auswertungsdatei die entsprechenden Summenwerte für die verschiedenen Taxa-Kategorien berechnet.

Die Jahresmittel wurden als arithmetisches Mittel aus den vorhandenen Proben berechnet, normalerweise aus 12 Werten, teilweise aus weniger, im Minimum aus 2 Werten bei fehlenden Daten.

8.2 Crustaceen-Systematik und Taxaliste

Im Plankton von Seen sind zwei grosse taxonomische Gruppen der Crustaceen anzutreffen, die **Copepoda (Ruderfusskrebse)** und die **Cladocera (Blattfusskrebse)**. Deren in den 5 Seen in den vorliegenden Untersuchungen gefundenen Vertreter sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Die fett gedruckten Arten werden in den folgenden Kapiteln ausführlich behandelt. Für die meisten Arten sind in der Tabelle einige Hinweise auf ihre Biologie zusammengefasst. Ausführlichere Informationen dazu sind in Maurer (1998) zu finden.

Im Bericht werden Vorkommen und Entwicklung der Arten bzw. Artengruppen anhand der Jahresmittelwerte diskutiert. Im Anhang sind auch die Grafiken zu den einzelnen Beprobungen abgebildet, die vor allem die Entwicklung innerhalb eines Jahres zeigen.

Im Brienzersee sind 2 *Calanoida*-Arten, 1 *Cyclopida*-Art, und 2 *Cladocera*-Arten häufig, einige weitere regelmässig vertreten. Im Thunersee findet man zusätzlich eine *Eubosmina*-Art häufig. Im Bielersee sind noch einmal zusätzlich 4 *Cyclopida*-Arten und 3 *Cladocera*-Arten häufig. Im Murtensee fehlt eine *Calanoida*-Art, im Neuenburgersee 2 *Cyclopida*-Arten im Vergleich zum Bielersee. Vor allem im Seeland sind verschiedene weitere Arten, teilweise auch aus der Uferzone oder der Tiefenzone stammend, regelmässig in den Planktonproben anzutreffen.

Zum Vergleich sind in der Tabelle 5 auch die Crustaceen-Taxa dargestellt, die in der Kleinseen-Untersuchung von 2013 gefunden wurden.

Tab. 5 Artenliste der Crustaceen in den 5 grossen Seen und den 2013 untersuchten Kleinseen (dunkelgrau: wichtig, Hauptarten; hellgrau weniger wichtig, ? vereinzelte Funde; Ju juvenil, Ad adult; F Filtrierer, G Grazer).

	Lebensraum				Trophie				Ernährung				1994-2018					Kleinseen 2013									
	Pelagial	Litoral	Profundal	Sediment	oligotroph	mesotroph	eutroph	unsicher	herbivor	omnivivor	detritivor	carnivor	Brienzersee	Thunersee	Bielsee	Neuenburgersee	Murtensee	Amsoldingensee	Burgäschensee	Burgseeli	Dittligensee	Gerzensee	Inkwilersee	Lobsigensee	Grosser Moossee	Oeschinensee	Uebeschensee
Klasse Crustacea																											
Ordnung Copepoda																											
Unterordnung Calanoida																											
<i>Eudiaptomus gracilis</i>									F/G																		
<i>Mixodiaptomus laciniatus</i>								?	F/G																		
<i>Arctodiaptomus alpinus</i>													?														
Unterordnung Cyclopina																											
Cyclopinae																											
<i>Cyclops vicinus</i>									Ju	Ad			?														
<i>Cyclops abyssorum</i>									Ju	Ad																	
<i>Cyclops bohater</i>								?	Ju	Ad			?														
<i>Megacyclops</i> sp.									Ju	Ad																	
<i>Acanthocyclops vernalis</i>									Ju	Ad																	
<i>Acanthocyclops robustus</i>									Ju	Ad			?														
<i>Mesocyclops leuckarti</i>									Ju	Ad			?														
<i>Thermocyclops crassus</i>								?	Ju	Ad																	
<i>Thermocyclops dybowsky</i>								?	Ju	Ad																	
<i>Diacyclops bicuspidatus</i>								?	Ju	Ad																	
Eucyclopinae																											
<i>Eucyclops serrulatus</i>																											
<i>Eucyclops macrurus</i>																											
<i>Paracyclops fimbriatus</i>								→	?																		
<i>Macrocyclus albidus</i>								→	?																		
Unterordnung Harpacticoida								?																			
<i>Canthocamptus staphylinus</i>																											
Ordnung Onychura																											
Unterordnung Cladocera																											
Daphnidae																											
<i>Daphnia</i> sp.									E																		
<i>Daphnia hyalina</i>									F																		
<i>Daphnia galeata</i>									F																		
<i>Daphnia cucullata</i>									F																		
<i>Daphnia longispina</i>									F																		
<i>Daphnia rosea</i>									F																		
<i>Ceriodaphnia</i> sp.									F				?														
<i>Simocephalus vetulus</i>								?	F				?	?													
<i>Scapholeberis mucronata</i>									F																		
Bosminidae																											
<i>Eubosmina longispina</i>									F																		
<i>Eubosmina coregoni</i>								→	F																		
<i>Bosmina longirostris</i>								→	F				?													?	
Polyphemidae																											
<i>Polyphemus pediculus</i>								?	F				?		?												
Cercophagidae																											
<i>Bythotrephes longimanus</i>																											
Leptodoridae																											
<i>Leptodora kindtii</i>								→																			
Sididae																											
<i>Sida cristallina</i>													?														
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>								?	F																		
Chydoridae																											
<i>Camptocerus rectirostris</i>								←	F	F																	
<i>Acroporus harpae</i>								→	F	F																	
<i>Alona rectangularis</i>								?	F	F			?														
<i>Alona quadrangularis</i>								?	F	F																	
<i>Alona affinis</i>								?	F	F																	
<i>Leydigia quadrangularis</i>								?		G																	
<i>Disparalona rostrata</i>								?		F																	
<i>Alonella</i> sp.													?	?		?											
<i>Alonella excisa</i>								?	W	W																	
<i>Alonella nana</i>								?		F			?														
<i>Peracantha truncata</i>								?		F																	
<i>Monospilus dispar</i>								?		G																	
<i>Pleuroxus uncinatus</i>																											
<i>Chydorus</i> sp.													?														
<i>Chydorus sphaericus</i>	eu								F	F																	
Macrothricidae																											
<i>Illicryptus sordidus</i>								←	?	F					?												
<i>Macrothrix</i> sp.										F																	

8.3 Gesamtabundanz - Vergleich zwischen den Seen

Abb. 32 und Datenanhang Kap. 4.1

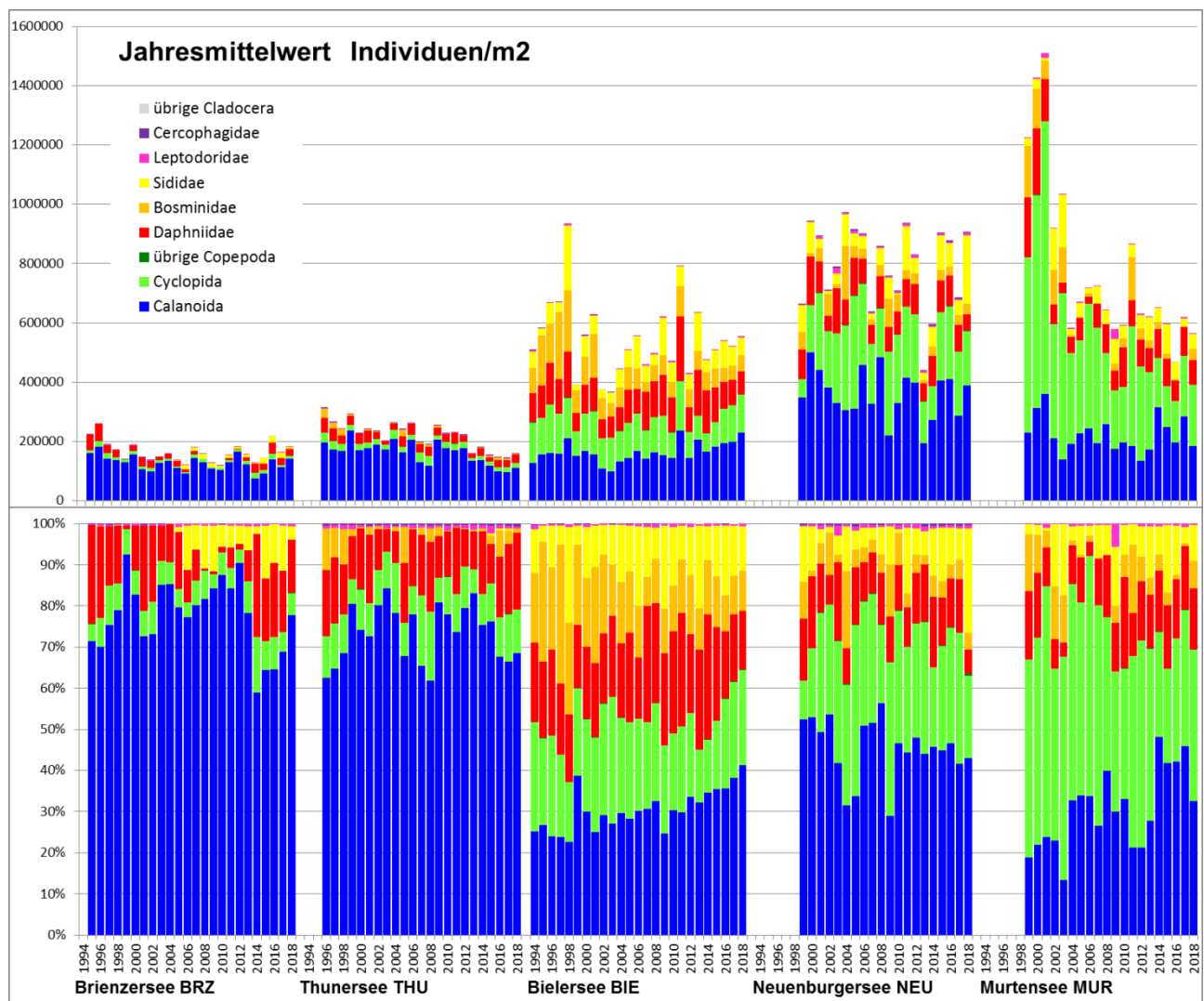


Abb. 32 Jahresmittel der Gesamtabundanz der Crustacea (ohne Nauplien) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Das Gesamtvorkommen der Crustaceen kann mit zwei Parametern dargestellt werden:

- Die Abundanz in Individuen/m² zeigt die gezählten Individuen, entspricht also den Ergebnissen der aktuellen Untersuchung. Allerdings werden kleinste und grösste Individuen gleich gewichtet, was für Nahrungsbilanzen nicht optimal ist.
- Die Biomasse in g/m² Frischgewicht basiert auf einer Berechnung der Individuenzahlen mit Individualgewichten. Diese wiederum basieren für Briener- und Thunersee auf Volumenmodellen der EAWAG von 1987 und für Bielersee und Neuenburgersee auf Trockengewichtsbestimmungen von 1988/89 (auch übernommen für den Murtensee). Diese beiden Berechnungen differieren ziemlich, so dass Vergleiche zwischen den Seen nicht sinnvoll sind. Zudem werden im Briener- und Thunersee die Biomassen der *Cladocera* (insbesondere *Daphnia* spp. und *Leptodora*) sehr viel stärker gewichtet. Entscheidend ist natürlich, dass bei der Biomasse die grossen Individuen bzw. Taxa viel stärker gewichtet werden.

Dafür können die Zahlen verglichen werden mit den Biomassen der Algen.

Auf Grund der verlässlicheren Resultate werden die Vergleiche und Entwicklungen primär auf der Basis der Abundanz diskutiert.

Die Jahresmittelwerte der Gesamtabundanz (Abb. 32) zeigen deutlich die Unterschiede zwischen den beiden Alpenrandseen mit Werten um 200'000 Ind./m² und den Mittellandseen mit Werten um 500'000 - 900'000 Ind./m². Das gleiche Bild ergibt sich auch bei der Biomasse mit aktuellen Werten um 20 mg/m² Frischgewicht in Brienzer- und Thunersee und 30 - bis 70 mg/m² im Seeland.

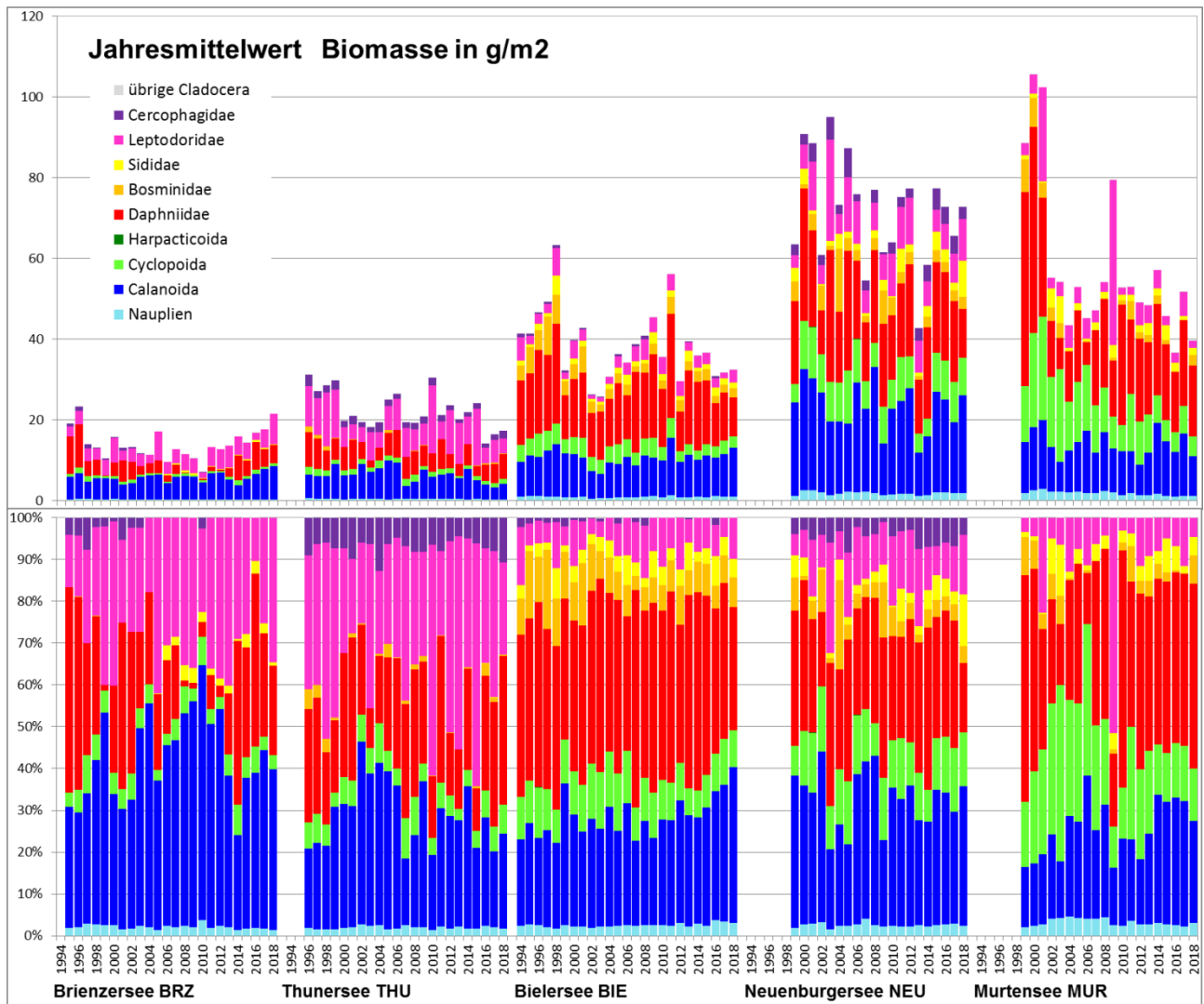


Abb. 33 Jahresmittel der Gesamtbio­masse der Crustacea (inklusive Nauplien) in g/m². Frischgewicht für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Die Entwicklung ist für die verschiedenen Seen unterschiedlich:

- Im Brienzersee zeigte sich ein leichter Rückgang bis ca. 2010, seither steigen die Abundanzen wieder leicht an. Interessanterweise ist dafür vor allem *Eudiaptomus gracilis* verantwortlich und nicht wie erwartet die *Daphnien*.
- Im Thunersee bleibt die abnehmende Tendenz bis 2018 bestehen, so dass er 2018 leicht tiefere Abundanz bzw. Biomasse aufweist als der Brienzersee. Auch hier sind als wichtigste Gruppe die *Calanoida* für die Veränderungen meistverantwortlich.
- Im Bielersee ist die Entwicklung komplizierter: nach einer Zunahme bis 1998 folgten steigende und sinkende Phasen in kurzen Abständen. Ab 2014 steigt die Abundanz auf eher tiefem Niveau wieder leicht an, insbesondere aufgrund der Zunahme der *Calanoida* und trotz der Abnahme der *Bosminidae* und *Daphniidae*.
- Im Neuenburgersee bleibt Abundanz mit hoher Variabilität von Jahr zu Jahr ziemlich konstant, die Biomasse nimmt tendenziell leicht ab.

- Im Murtensee folgt auf eine sehr starke Abnahme zwischen 2002 und 2004 noch eine leichte generelle Abnahme, allerdings auch hier mit deutlichen Schwankungen von Jahr zu Jahr. Der Rückgang wurde insbesondere durch den Rückgang der *Cyclopoida* verursacht.

Bei der Betrachtung der einzelnen Monatsproben bzw. der Jahresverläufe zeigt sich ein ähnliches Bild. Im Briener- und Thunersee bestimmt die Entwicklung der *Calanoida* im Wesentlichen den Jahresverlauf und die Entwicklung insgesamt. Einzig im Sommer kommen noch kleine Zusatzpeaks durch die andern Gruppen dazu. Im Neuenburgersee ist dies ähnlich, aber die andern Gruppen zeigen wesentlich höhere zusätzliche Maxima.

Im Bieler- und Murtensee bilden die *Calanoida* quasi einen Grundstock, die Jahresdynamik wird aber primär bestimmt durch *Cyclopida* und *Cladocera*. Die Jahres-Maxima erreichen im Brienersee um 200'000 - 500'000, im Thunersee bis 900'000 Individuen/m². Im Bielersee liegen die Maxima bei 1 - 2.7 Mio. Individuen/m², in Neuenburger- und Murtensee vereinzelt sogar bis über 3 Mio. Individuen/m².

8.4 Die Crustaceen-Arten

8.4.1 Nauplien

Abb. 34 und Datenanhang Kap. 4.2.1.

Die Nauplien umfassen die ersten 6 Lebensstadien der *Copepoda* (Ruderfusskrebse). Sie wurden beim Auszählen in einer Kategorie zusammengefasst, also nicht getrennt nach *Calanoida* und *Cyclopida* und den verschiedenen Altersstadien. Deshalb können sich Entwicklungen der einzelnen Taxa überlagern.

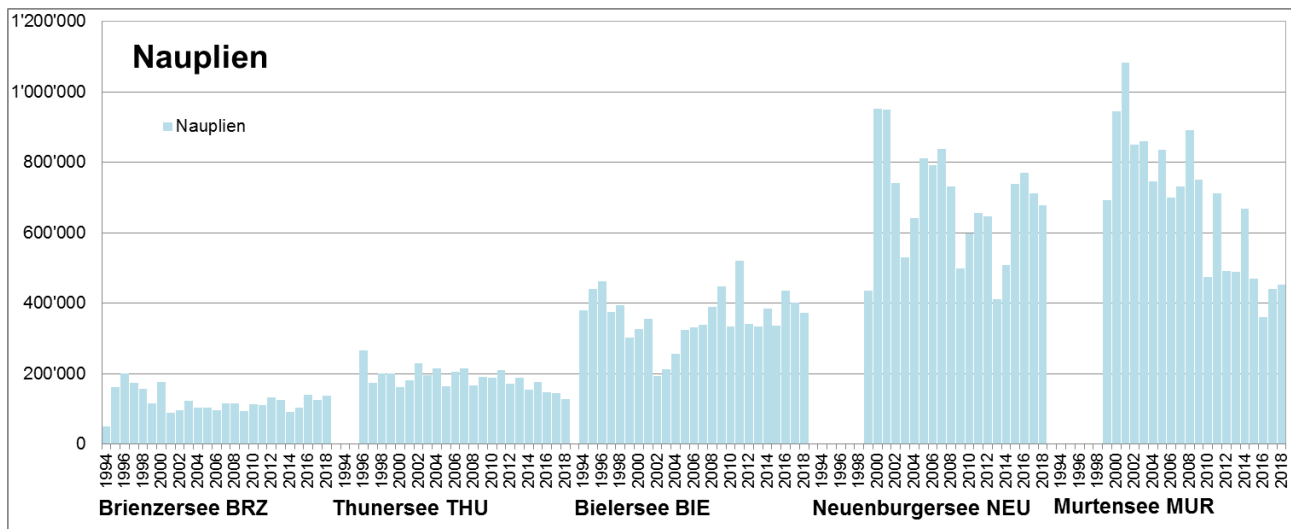


Abb. 34 Jahresmittel der Gesamtabundanz der Nauplien in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Die Jahresmittelwerte zeigen die Zunahme der Abundanz vom oligotrophen Brienersee bis zum meso- bis eutrophen Murtensee. Der Neuenburgersee ist derjenige See mit der höchsten *Calanoida*-Abundanz, was sich deutlich auch in der Abundanz der Nauplien niederschlägt.

Die Monatsmaxima erreichen im Murtensee um die 3 Mio. Individuen/m², im Neuenburgersee um 2.5, im Bielersee um 1.5 und in den Oberländerseen um 500'000 Individuen/m². Dies entspricht etwa dem 2.5 fachen der Jahresmittelwerte. Die Abundanz erreicht jeweils im Frühling/Frühsummer die höchsten Werte und ums Jahresende herum die tiefsten.

Eine klare langfristige Entwicklung ist nur im Murtensee feststellbar, da zeigen sowohl Jahresmittelwerte wie auch Monatswerte eine deutlich abnehmende Tendenz, die sich erst in den letzten 3 Jahren zu stabilisieren scheint. Dies dürfte im Zusammenhang mit dem beobachteten Rückgang der *Cyclopida* stehen (vgl. Kap. 8.4.3).

8.4.2 Calanoida

Abb. 35, Datenanhang 4.2.2

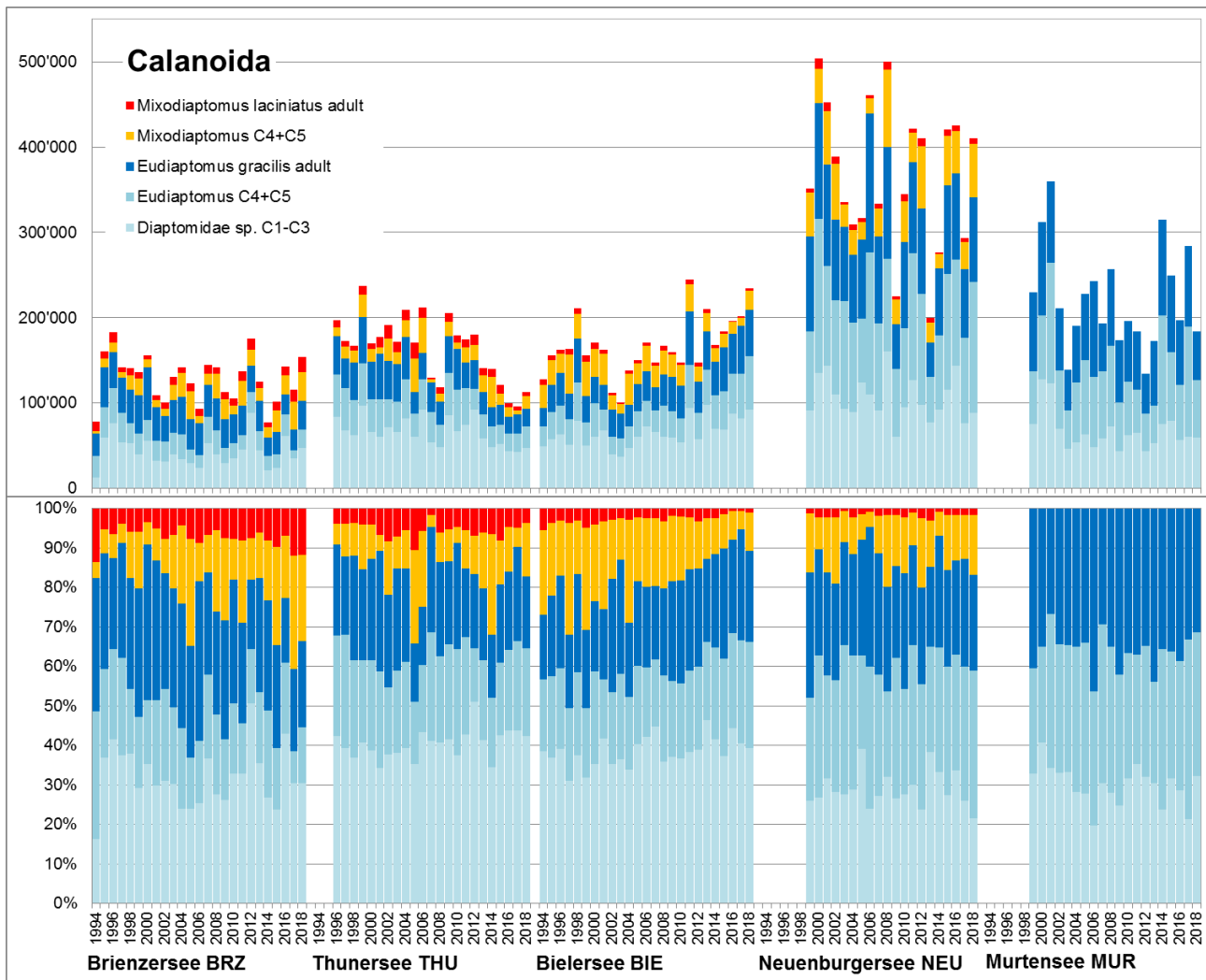


Abb. 35 Jahresmittel der Gesamtabundanz der Calanoida in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

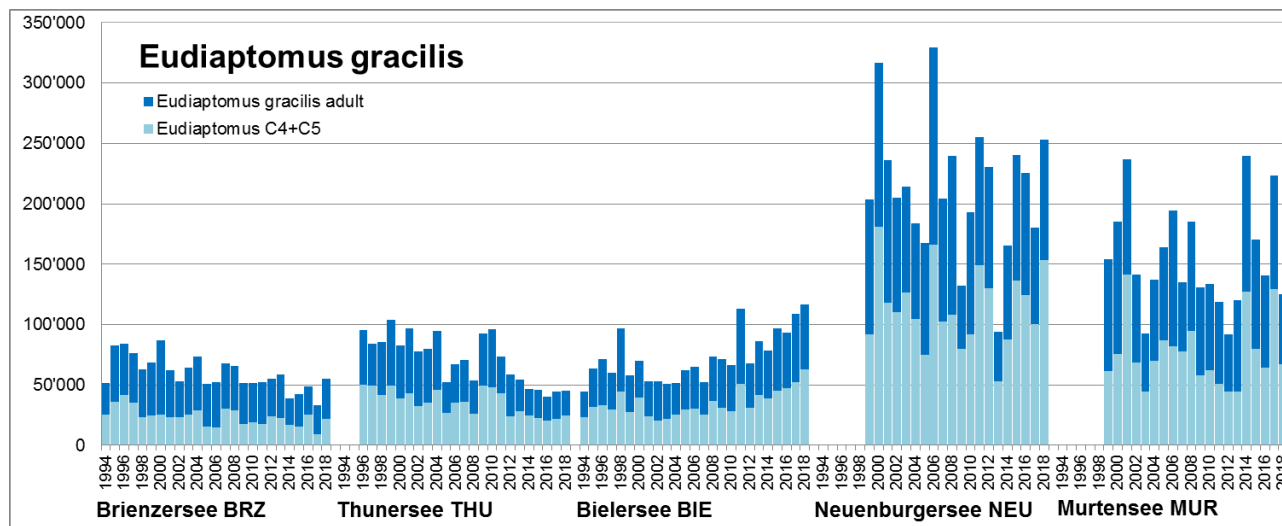
Die Calanoida oder Schwebekrebschen sind herbivore Arten und ernähren sich von Algen. Sie können grössere Algen verwerten als die filtrierenden *Cladocera*, sind also weniger stark abhängig von den kleinen kugeligen Algentaxa. Durch die Felchen werden sie nur ausnahmsweise gefressen.

Sie sind in den beiden Oberländer Seen die wichtigste Crustaceengruppe. Auch in den Jurarandseen bilden sie vor allem über den Winter den Hauptbestandteil. Die Jahresmittel der Abundanz zeigen im Brienzer-, Neuenburger- und Murtensee deutliche Schwankungen, aber keine eindeutige Veränderung, im Thunersee abnehmende und im Bielersee zunehmende Tendenz.

Eudiaptomus gracilis

Abb. 36, Datenanhang Kap. 4.2.2

Mitteleuropa Verbreitet häufig	Voralpen-Flachlandseen, Teiche. In vielen Gewässern wichtiger Planktonbestandteil; Perennierend mit mehreren Generationen	Zunahme bis mesotroph, dann z.T. verdrängt: weiter Bereich	Herbivor; Subitaneier;
--------------------------------------	---	--	---------------------------

Abb. 36 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Eudiaptomus gracilis* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4 (Copepodit-Stadien C4/C5 und Adulte).

Eudiaptomus gracilis (EG) ist die bei uns wahrscheinlich am weitesten verbreitete Crustaceenart. EG hat den Schwerpunkt in den grossen Seen und in den Kleinseen des Mittellandes. Die höchsten Individuenzahlen sind in den oberen Wasserschichten des Pelagials zu finden, er kommt aber bis in die tiefsten Bereiche des Sees vor.

EG tritt das ganze Jahr über in grösserer Dichte auf. Er zeigt mehrere Generationen pro Jahr, die allerdings bei monatlicher Probenahme kaum aufzulösen sind. Deutlich sichtbar sind aber in allen Seen die geringeren Abundanzen im Sommer und die zwei Maxima im Frühling und Herbst.

EG reagiert eher neutral gegenüber dem Trophiegrad. Er kommt als wichtigste Art in den oligotrophen Voralpenseen, in den mesotrophen Bieler- und Neuenburgersee wie auch im eutrophen Murtensee vor. Er ist auch in den meisten Kleinseen des Mittellandes zu finden. Er wird durch das zunehmende Nahrungsangebot während der Eutrophierung gefördert, dann aber durch zu starke Konkurrenz (z.B. *Daphnia*) oder Frassdruck (z.B. *Cyclops vicinus*) verdrängt.

EG zeigt in den beiden Oberländer Seen abnehmende Tendenz. Im Bielersee nimmt er vor allem ab 2010 klar zu. Im Neuenburger- und Murtensee ist die Abundanz (Jahresmittel und Monatsmaxima) deutlich höher, aufgrund der starken Schwankungen von Jahr zu Jahr ist aber keine klare Tendenz zu erkennen.

Mixodiaptomus laciniatus

Abb. 37, Datenanhang Kap. 4.1.2

Nordeuropa und alpin	Grosse, tiefe Voralpenseen, kleine alpine Gewässer; Vermehrungszeit im Winter, in Nordeuropa auch Dauereier	Eher Abnahme mit Eutrophierung	Herbivor; Vermehrung durch Subitaneier (in unseren Seen)
----------------------	---	--------------------------------	--

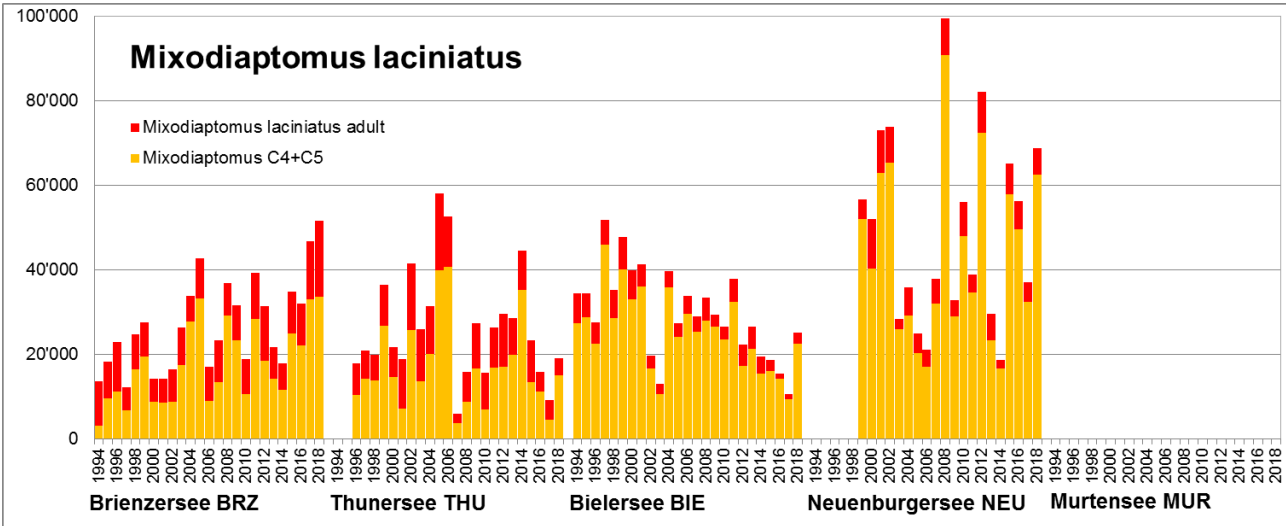


Abb. 37 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Mixodiaptomus laciniatus* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4 (Copepoditstadien C4/C5 und Adulte).

Mixodiaptomus laciniatus ist die zweite Art der *Diaptomidae* in unseren grossen Seen. Er wurde bis jetzt ausschliesslich in den grossen Voralpenseen (THU, BRZ, Vierwaldstättersee) sowie im Bieler- und Neuenburgersee gefunden. Im Bodensee und den kleineren Mittellandseen fehlt er.

Mixodiaptomus ist eine Kaltwasserart und lebt hauptsächlich im Tiefenwasser. Er bildet eine Generation pro Jahr. Die Copepoditstadien treten ab März/April auf, die Adulten bilden ihr Maximum im späteren Herbst bis in den Winter hinein. Die Maxima der Adulten treten im Thuner- und Brienzensee eher etwas später im Jahr auf, so dass auch in den Wintermonaten (Januar bis März) immer noch Adulte vorhanden sind.

Mixodiaptomus kommt generell in deutlich geringeren Abundanzen vor als *Eudiaptomus*. Allerdings ist die Unterscheidung der kleinen Copepoditstadien eher schwierig: Deshalb wurden sie in den vorliegenden Untersuchungen gemeinsam gezählt und aufgrund des Zahlenverhältnisses der C4/C5 aufgeteilt.

Mixodiaptomus reagiert auf die Eutrophierung wahrscheinlich mit einem Bestandesrückgang, möglicherweise wegen der stärkeren Nahrungskonkurrenz durch *Eudiaptomus* und *Cladoceren*. Diese Aussage wird gestützt durch die Vergleiche der Untersuchungen im Bielersee mit früheren Untersuchungen der Universität Bern ab 1974 (HYDRA/AWA 2009).

Im Brienzensee zeigt sich eine Zunahme, im Bielersee eine deutliche Abnahme der Abundanz. Im Vergleich mit der gegenläufigen Tendenz von *Eudiaptomus* könnte dies ein Hinweis auf eine Konkurrenzsituation sein. Im Thuner- und Neuenburgersee ist aufgrund der grossen Schwankungen von Jahr zu Jahr kaum eine Entwicklungstendenz sichtbar. Im Murtensee konnte die Art bis jetzt nicht festgestellt werden, möglicherweise weil hier die Lebensbedingungen nicht stimmen - das "kalte Tiefenwasser" ist im wenig tiefen See weniger ausgedehnt, weniger kalt und phasenweise sauerstofffrei..

8.4.3 Cyclopida

Abb. 38 und Anhang 4.2.3/4.2.4

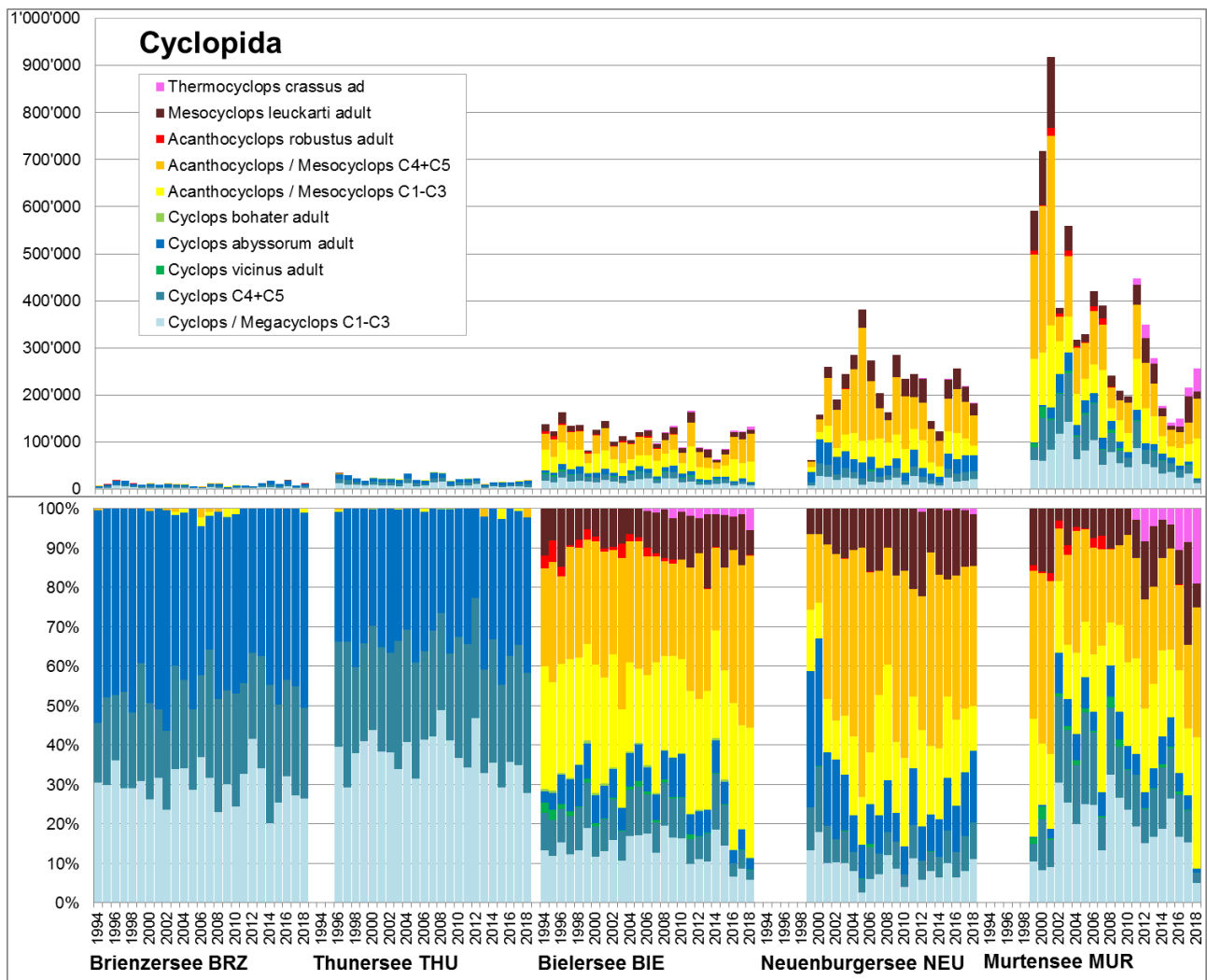


Abb. 38 Jahresmittel der Gesamtabundanz der Cyclopida in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Die Gesamtabundanz der Cyclopida zeigt sehr deutlich die Unterschiede zwischen den Regionen, einerseits in der Menge und andererseits in der Zusammensetzung.

Im Brienzer- und Thunersee (auf leicht höherem Niveau, leicht abnehmend) kommt fast ausschliesslich *Cyclops abyssorum* vor. Dieser tritt auch im Seeland auf: im Bielersee mit leicht höherer Abundanz und abnehmender Tendenz im Neuenburgersee noch etwas höher und mit Schwankungen konstant. Im Murtensee weisen vor allem die Copepoditstadien von *Cyclops* sp. sehr hohe Abundanzen auf. Vor allem Im Murten-, aber auch im Bielersee sind da in den früheren Untersuchungsjahren auch grossere Anteile von *Cyclops vicinus* und allenfalls *C. bohater* dabei, die dann sowohl als Adulte wie auch als Copepodit-Stadien zurückgehen.

Auffällig ist aber, dass zusätzlich zu den grossen *Cyclops*-Arten die kleinen Cyclopiden hohe Abundanz und grosse Anteile erreichen. Der Artenwechsel innerhalb dieser Gruppe wird leider nicht so deutlich, da die Copepoditstadien nicht separat gezählt werden. Aber trotzdem wird deutlich dass ab 1994 bis ca. 2005 *Acanthocyclops robustus* zurückgeht zugunsten von *Mesocyclops leuckartii* und ab 2006 *Thermocyclops crassus* neu auftritt.

Generell bleibt die Abundanz der Cyclopida im Bielersee etwa konstant, im Neuenburgersee ist die Tendenz unklar und Murtensee nahm sie bis 2014 ab und jetzt eher wieder zu.

Cyclops vicinus

Abb. 39, Datenanhang Kap. 4.2.3

Mitteleuropa, verbreitet	Pelagisch in Seen und Kleinseen, Epilimnion; Maximum im Frühsommer, Diapause (C4) ab Sommer - Frühling	stark gefördert durch Eutrophierung; in vielen Seen neu ab 1940-60	C1 - C3 omnivor, ab ca. C4 carnivor Subitaneier, Diapause C4
--------------------------	--	--	--

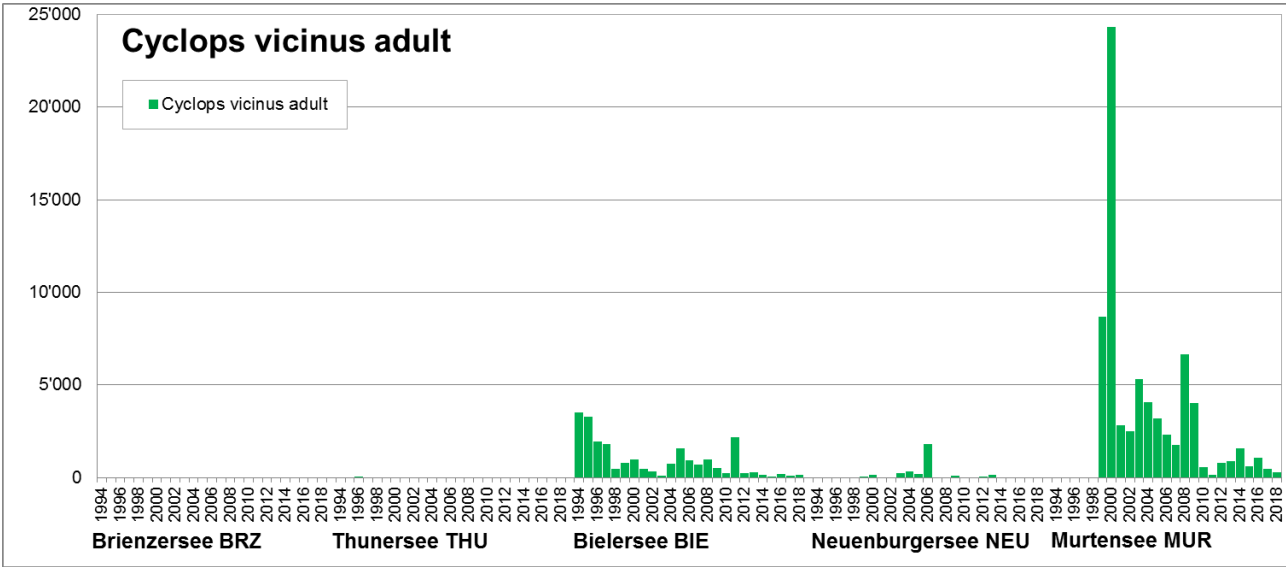


Abb. 39 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Cyclops vicinus* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Cyclops vicinus (CV) ist eine Cyclopidenart, die erst mit der Eutrophierung in unseren Seen aufgetaucht ist. Er kommt denn auch in den Mittellandseen (Bieler-, Neuenburger-, Boden-, Sempachersee, vielen Berner Kleinseen im Mittelland und Jura) vor, fehlt aber in den Voralpenseen (Ausnahme: Vierwaldstättersee) und Bergseen.

CV bewohnt die wärmeren oberen Wasserschichten des Pelagials. CV macht eine Diapause als C4 im Sediment durch, die ersten C5 und Adulten treten deshalb im Winter auf, die Copepoditen im Frühling bevor die C4 wieder ins Sediment wandern. Im Bielersee wird häufig eine kleine zusätzliche Sommergeneration sichtbar.

Obschon die Abundanzen sehr starke Unterschiede von Jahr zu Jahr zeigen, wird im Vergleich mit den früheren Untersuchungen ein deutlicher Rückgang der *Cyclops vicinus*-Population im Bieler- und im Murtensee sichtbar. Heute spielt CV in beiden Seen kaum mehr eine wichtige Rolle. Dieser Rückgang hängt mit der Reoligotrophierung zusammen.

Cyclops abyssorum

Abb. XXX, Datenanhang Kap. 4.1.3

Mitteleuropa	in grossen Voralpenseen, pelagisch, auch tief, Vertikalwanderung; verschiedene Untergruppen; ganzjährig	"Alte" Art, Zunahme bis mesotroph, zT Grössenzunahme (<i>C.a.praealpinus</i> , <i>C.a.bodanus</i>)	carnivor; Subitaneier; evtl. zT. Entwicklungspause im Sommer <i>C.a.tatricus</i> in Voralpen bis Hochalpen, kleinere Gew.
--------------	---	--	--

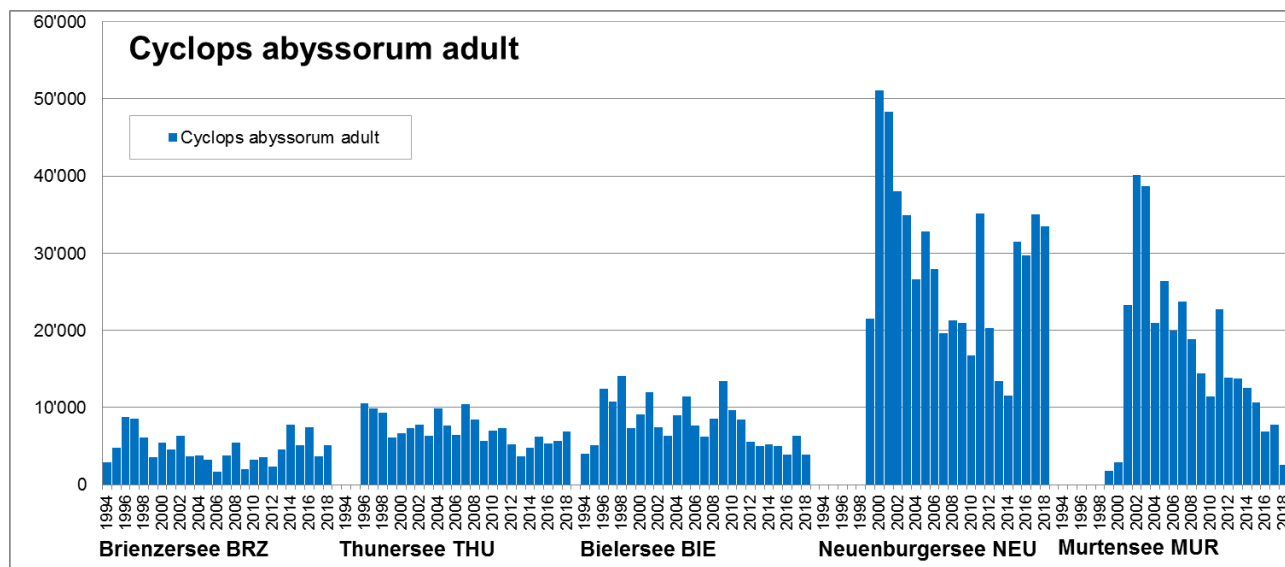


Abb. 40 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Cyclops abyssorum* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Cyclops abyssorum ist der typische Cyclopide der grossen oligotrophen Voralpenseen. Er kommt aber auch in vielen kleinen Bergseen sowie in den grösseren und einzelnen kleineren Mittellandseen vor. Er ist also weit verbreitet. In den oligotrophen Seen ist aber seine Abundanz deutlich grösser.

Cyclops abyssorum kommt in einer grossen Formenvielfalt vor, wobei die Übergänge dazwischen fließend sind. In den Bergseen tritt häufig die Form *C. a. tatricus* mit deutlichen Lobi am Thorax auf. Die Brienzerseetiere zeigen davon noch leichte Andeutungen, sie gehören wie die Tiere aus dem Thunersee und ein Teil der Tiere aus dem Bielersee der kleinen, feinen Form *C. a. praealpinus* an. Im Bielersee traten insbesondere 1987/88 noch sehr viele grosse Tiere der Form *C. a. bodanus* auf (Schwerpunkt in Bodennähe).

Cyclops abyssorum bewohnt alle Tiefenbereiche des Pelagials. Er zeigt jeweils ein Hauptmaximum im Frühling (BIE: März bis Mai; THU, BRZ: April bis Juni) und zum Teil ein zweites Maximum oder mittlere Bestände im Herbst. Die Unterschiede der Abundanz zwischen den einzelnen Jahren sind relativ gross. *Cyclops abyssorum* zeigt eine deutliche Präferenz für oligotrophe Verhältnisse, kommt aber, mit geringerer Bedeutung, auch in meso- bis eutrophen Gewässern vor.

Die Bestände im Brienzer-, Thuner- und Bielersee liegen auf einem eher niedrigen Niveau und blieben annähernd konstant. Im Bielersee zeigte sich allerdings ab etwa 2010 ein Rückgang. Im Murten- und im Neuenburgersee waren die Bestände insbesondere um 2000 wesentlich höher. Der dann einsetzende Rückgang dauerte im Murtensee bis 2018 an, während im Neuenburgersee ab 2015 eine klare Erholung eintrat.

Cyclops bohater

Abb. 41, Datenanhang Kap. 4.2.3

Mitteleuropa, verbreitet, selten	im Profundal grosser Seen, evtl. auch Litoral; Diapause im Sommer als C5	eher eutroph, tolerant gegen O ₂ -Mangel	Carnivor; Subitaneier, Diapause C5 im So
----------------------------------	--	---	--

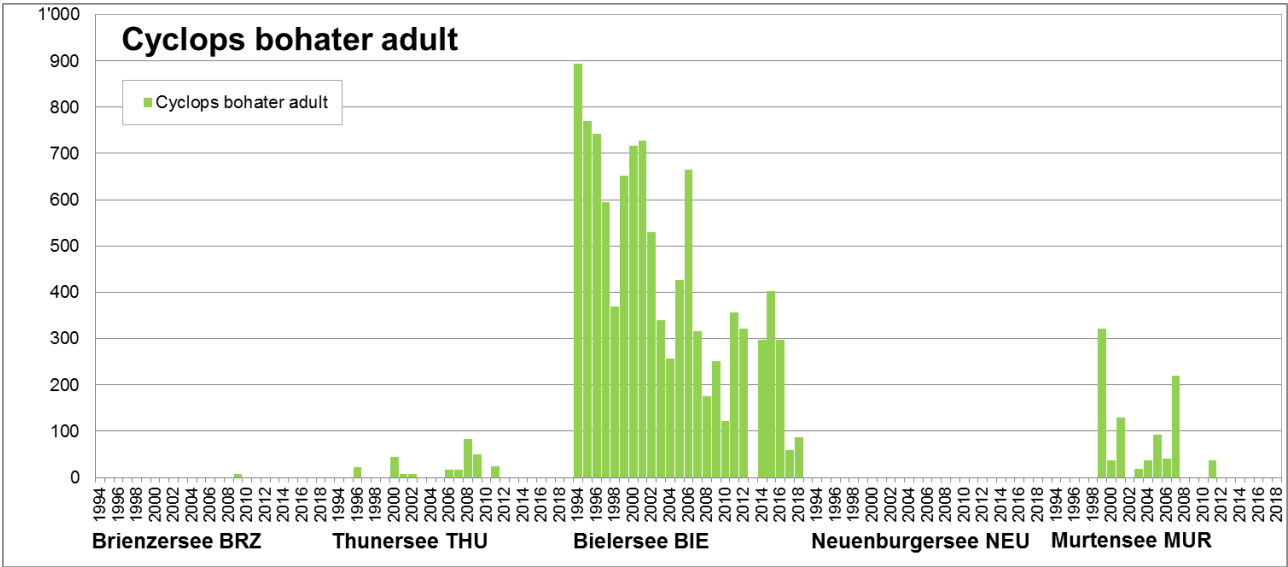


Abb. 41 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Cyclops bohater* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Cyclops bohater (CB) ist gemäss Literaturangaben eine seltenere Art des Tiefenplanktons eutropher Seen. Im Thunersee traten zwischendurch vereinzelte Exemplar auf. Im Neuenburgersee fehlte die Art, im Murtensee trat sie von 1999 bis 2011 unregelmässig auf.

Einzig im Bielersee konnte er regelmässig beobachtet werden, allerdings war hier ein klarer Rückgang der Population zu erkennen. Ober CB auch im Bielersee verschwinden wird, ist jetzt noch nicht abzuschätzen.

Mesocyclops leuckartii

Abb. 42, Datenanhang Kap. 4.2.4

Mitteleuropa, verbreitet, häufig	wichtiger Plankter in Seen und Kleingewässern; überwintert als C5, mehrere Sommer-Generationen	olig: M.l.bodanicola als kleine pelagische Form, eu: M.l. grösser; "alte" Art der oligotr. Seen	Cop. omnivor, Ad. carnivor Subitaneier, C5 Diapause
----------------------------------	--	---	--

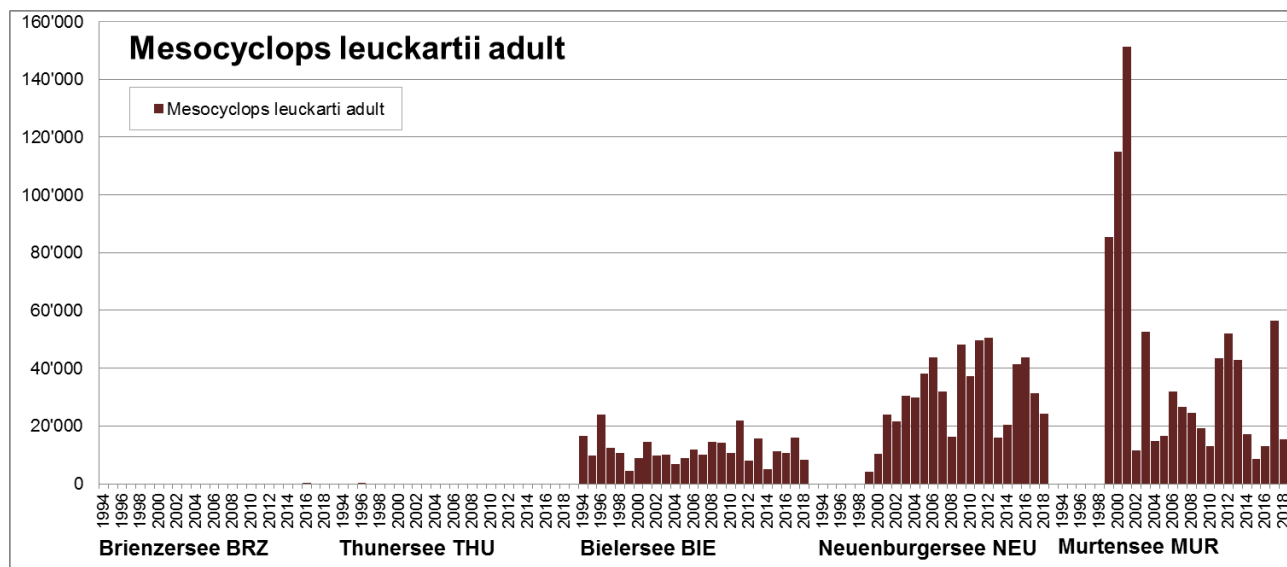


Abb. 42 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Mesocyclops leuckartii* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Mesocyclops leuckarti (MLE) ist eine kleine Cyclopidenart, die in den grossen und einigen kleinen Mittellandseen vorkommt. Einzelfunde stammen auch aus Thuner- und Brienersee, im Vierwaldstättersee ist er selten.

Aufgrund seines Lebenszyklus charakterisiert er das Sommer- und Herbstplankton: er scheint eine kältebedingte Wachstumspause als C5 (meist in Sedimentnähe) durchzumachen. Eine erste Adultengeneration erscheint im Frühling. Die zweite Generation bildet das grosse Sommer- und Herbst-Maximum.

Die Abundanzen im Bielersee sind im Vergleich mit den Untersuchungen 1974 und 1987 gewaltig gestiegen. Diese Zunahme dürfte indirekt auf die Reoligotrophierung, direkt aber wahrscheinlich auf den entsprechenden Rückgang von *Acanthocyclops robustus* zurückzuführen sein. Im Untersuchungszeitraum ab 1994 zeigte sich aber keine deutliche Tendenz. Im Neuenburgersee konnte eine Zunahme ab 1999 (Untersuchungsbeginn) und ab ca. 2013 wieder eher ein Rückgang beobachtet werden. Im Murtensee blieb der Bestand nach anfänglicher Massenentwicklung mit grossen Schwankungen stabil.

Acanthocyclops robustus

Abb. 43, Datenanhang Kap. 4.2.4

Mitteleuropa	Litoral und Kleingewässer, auch benthisch, neu auch Pelagial; Sommer und Herbst-Maximum, Kleingewässer auch Wi; Warmwasser	bei Eutrophierung starke Zunahme im Pelagial	Cop. omnivor, Ad. carnivor Subitaneier
--------------	--	--	---

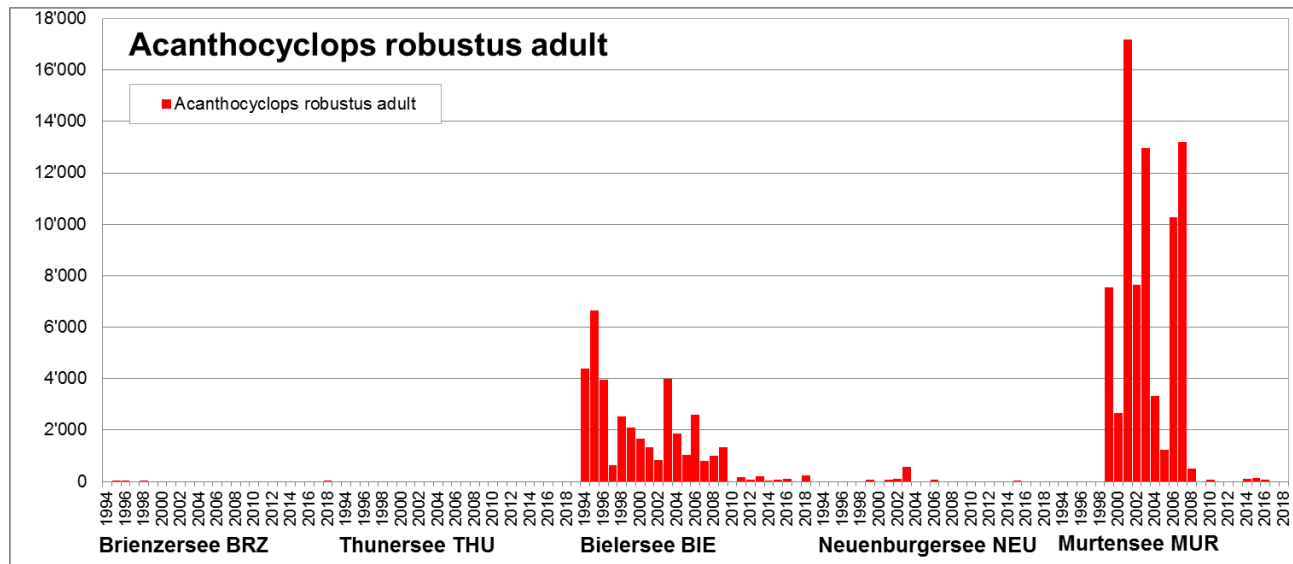


Abb. 43 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Acanthocyclops robustus* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Acanthocyclops robustus (AR) ist traditionell eine Art der Kleinseen, des Benthos und der Uferzone von grossen Seen. Während der Eutrophierung hat er seine Population sehr stark ins Pelagial ausgedehnt. AR bildet mehrere Generationen, die Hauptentwicklungszeit liegt im Spätsommer, also gleichzeitig mit *Mesocyclops leuckartii* (MLE).

Acanthocyclops robustus fehlt in den Oberländer Seen. Eine verwandte Art - *A. vernalis* - konnte vereinzelt im Brienersee beobachtet werden. Auch im Neuenburgersee wird AR nur vereinzelt beobachtet. Die Bestände im Bielersee zeigen seit 1974 einen sehr deutlichen Rückgang. Ab 2010 werden nur noch vereinzelte Adulte von AR beobachtet. Analog ist die Entwicklung im Murtensee.

Damit zeigt sich klar der Rückgang der Trophie zeigenden Art. Ob AR allerdings ganz verschwindet oder sich nur wieder ins Litoral zurückzieht, kann aufgrund fehlender Daten aus dem Litoral nicht beantwortet werden.

Thermocyclops crassus

Abb. 44, Datenanhang Kap. 4.2.4

Weltweit mit grosser Formenfülle	Pelagial von Seen (obere warme Schichten), auch perennierende Kleingewässer, Winterruhe als C4/C5; mehrere Generationen im Sommer möglich	Keine Angaben	Keine Angaben
----------------------------------	---	---------------	---------------

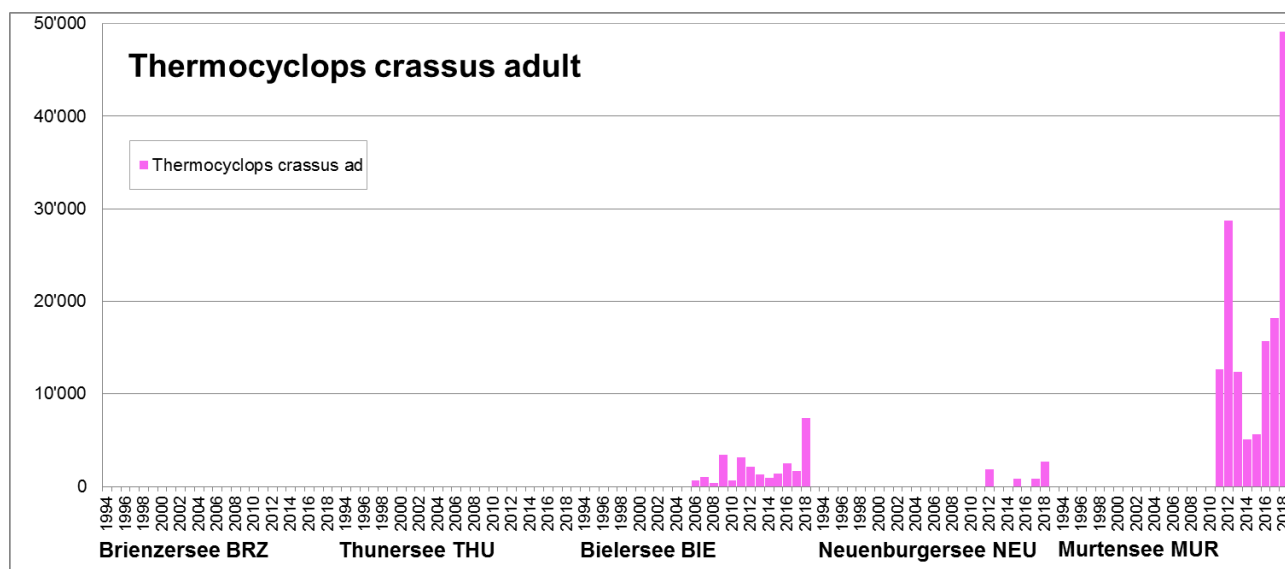


Abb. 44 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Thermocyclops crassus* (adult) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Thermocyclops crassus kommt nach verschiedenen Literaturangaben weltweit in grosser Formenfülle vor. Auffallend ist auch, dass neben den holarktischen Vorkommen auch viele in tropischen Gewässern liegen. Verbitzky et al. (2018) zeigen auch, dass die bevorzugten Wassertemperaturen von *T. crassus* bei 25 - 29°C liegen, der normale Bereich zwischen 23 und 32°C. Diese Art bevorzugt damit sehr warmes Wasser, das in unseren Gewässern früher höchstens in ganz flachen Gewässern oder im flachsten Teil der Uferzone grösserer Seen erreicht wurde.

Thermocyclops crassus kommt neu im Bielersee seit 2006 und im Murtensee seit 2011 vor (im Neuenburgersee nur vereinzelt), erreicht vor allem im Murtensee aber bereits grössere Abundanzen in einem ähnlichen Bereich wie die weit verbreitete Art *Mesocyclops leuckarti*. Die Abundanz wird zudem noch unterschätzt, da die Copepodit-Stadien nicht separat ausgezählt werden.

Diese Zunahme von *Thermocyclops crassus* im Pelagial der wärmeren Seen dürfte fast sicher auch mit der Erwärmung der Gewässer im Rahmen des Klimawandels zusammen hängen. Ob noch weitere Faktoren eine Rolle spielen ist derzeit nicht erkennbar.

8.4.4 Cladocera

Abb. 45, Datenanhang Kap. 4.2.5 bis 4.2.9

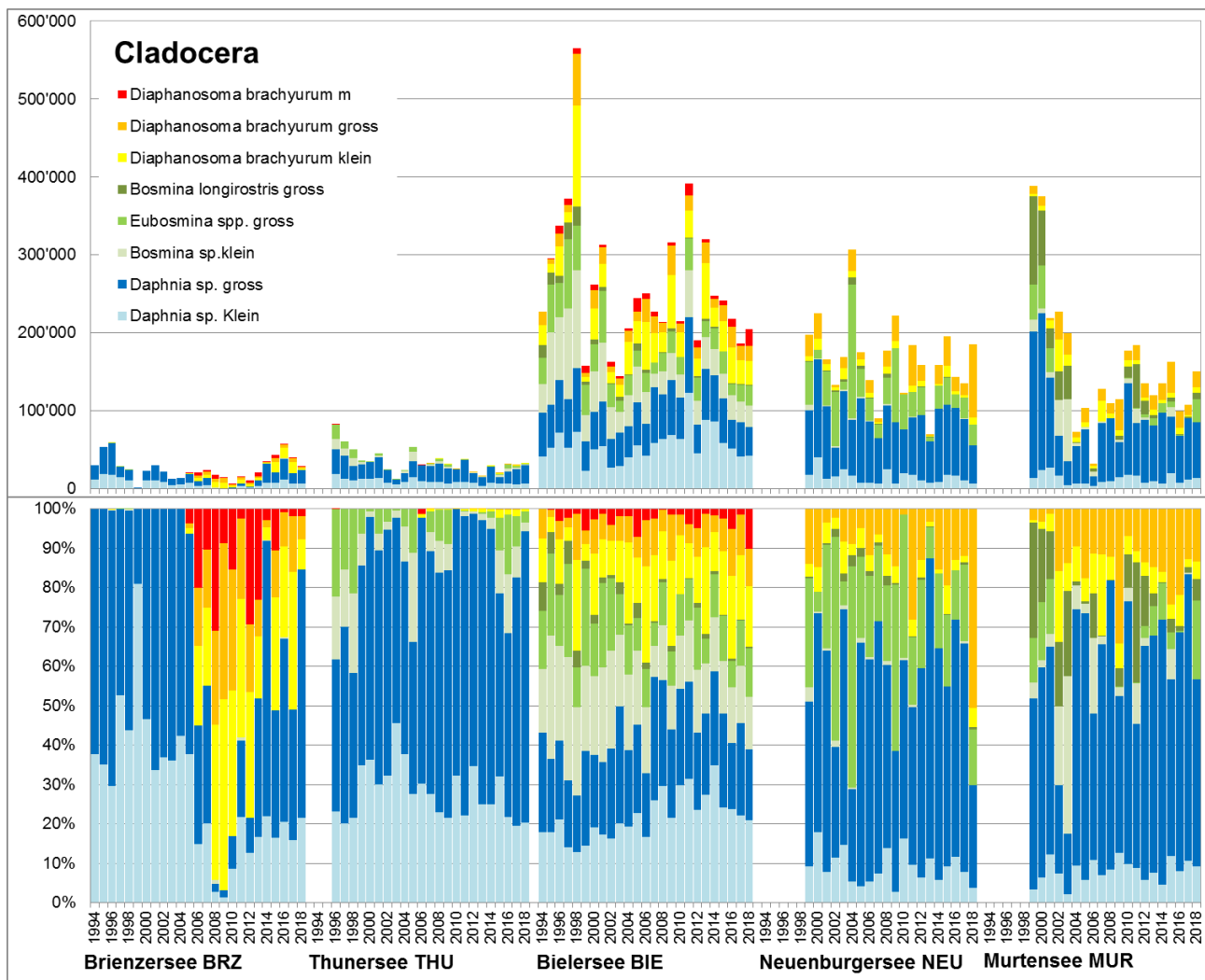


Abb. 45 Jahresmittel der Gesamtabundanz der Cladocera in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Die Gesamtabundanz der filtrierenden *Cladocera* zeigt deutlich den Unterschied zwischen den beiden Alpenrandseen mit generell viel tieferer Abundanz und dominantem Anteil der Daphnien und den Jurarandseen mit viel höherer Abundanz und insbesondere im Bielersee einer breiteren systematischen Verteilung.

Aber dieses generelle Bild zeigt Varianten. Im Brienersee ersetzte *Diaphanosoma brachyurum* die Daphnien beim Populationseinbruch. Im Thunersee war in mehreren Phasen der Anteil von *Eubosmina longispina* relativ hoch und dies meist verbunden mit einer höheren Cladoceren-Abundanz generell.

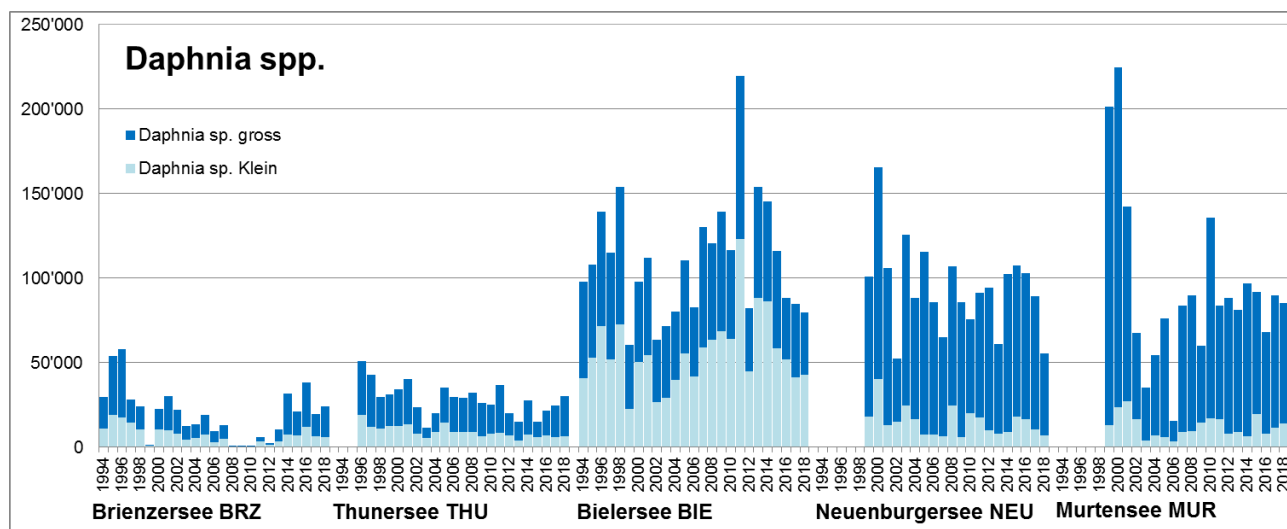
Im Bielersee wird grundsätzlich die höchste Abundanz erreicht, jedenfalls bezogen auf die Jahresmittelwerte. Die höchsten Maxima wurden aber im Murtensee erreicht. Und im Bielersee existieren alle drei wichtigen Gruppen - *Daphniidae*, *Bosminidae* und *Sididae* - fast gleichmässig verteilt miteinander, allerdings leicht verschoben zwischen den Jahreszeiten. Die *Bosminidae* zeigen einen Rückgang, ebenso die *Daphniidae* nach einem zwischenzeitlichen Hoch. Damit nimmt der Anteil wenn auch nicht die Abundanz der *Sididae* etwas zu.

Im Neuenburger- und Murtensee ist die Verteilung der Gruppen, nach den Spitzenjahren 1999/2000 im Murtensee, relativ ähnlich, auch eine leicht abnehmende Tendenz ist zu beobachten.

Daphnia spp.

Abb. 46, Datenanhang Kap. 4.2.5

Daphnia hyalina nördl./mittl. Paläarktis, häufig	Plankton kalkhaltiger, grosser, tiefer Seen, tiefe Vertikalwanderung; Maximum im Sommer, aber meist ganzjährig vorhanden, Sexualperiode meist im Herbst	oligo- bis mesotroph	herbivor, Filtrierer; parthenogenetisch (Subitaneier) und sexuell (Dauereier)
Daphnia galeata Mitteleuropa häufig	Plankton in Seen, aber auch in grösseren Kleinseen, nur Epilimnion; kalkreiche Gew.; Apr-Dez, ein oder zwei Maxima	schwach bis mässig eutroph, in Alpenrandseen mit Eutrophierung eingewandert	herbivor, Filtrierer; parthenogenetisch (Subitaneier) und sexuell (Dauereier)
Daphnia cucullata transpaläarktisch	Plankton in eutrophen Seen und Weihern, Epilimnion, Warmwasserart, kalkreich; meist Sommerform mit 1-2 Maxima	eutroph, fehlt in Alpenrandseen	herbivor, Filtrierer; parthenogenetisch (Subitaneier) und sexuell (Dauereier)

Abb. 46 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Daphnia* spp. in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Daphnia sp. umfasst in den untersuchten Seen die Arten *D. hyalina* (DH), *D. galeata* (DG) und *D. cucullata* (DC), wobei DG und DC nur im Bielersee separat bestimmt wurden (nur grosse Kategorien und morphologische Differenzierung aufgrund der Cyclomorphose und der Rostrumspitze). Alle drei Arten können Hybridpopulationen bilden (meist DH x DG), die nur schwer zuzuordnen sind und oft den grössten Teil der Gesamtpopulation ausmachen.

DH lebt nachts im Oberflächenwasser der Seen, tagsüber wandert sie z.T. in tiefe Wasserschichten. DG und DC leben im Oberflächenwasser. DG und DC sind zudem reine Sommerformen, während DH, wenn auch in geringer Zahl, über den Winter zu beobachten ist.

Die Vermehrung erfolgt parthenogenetisch. Während zwei Phasen, im Klarwasserstadium (nur im Bielersee beobachtet) und im Spätherbst, treten Männchen auf.

Das Auftreten von DG und DC deutet auf eutrophere Verhältnisse hin. In den Voralpenseen fehlen deshalb diese Arten.

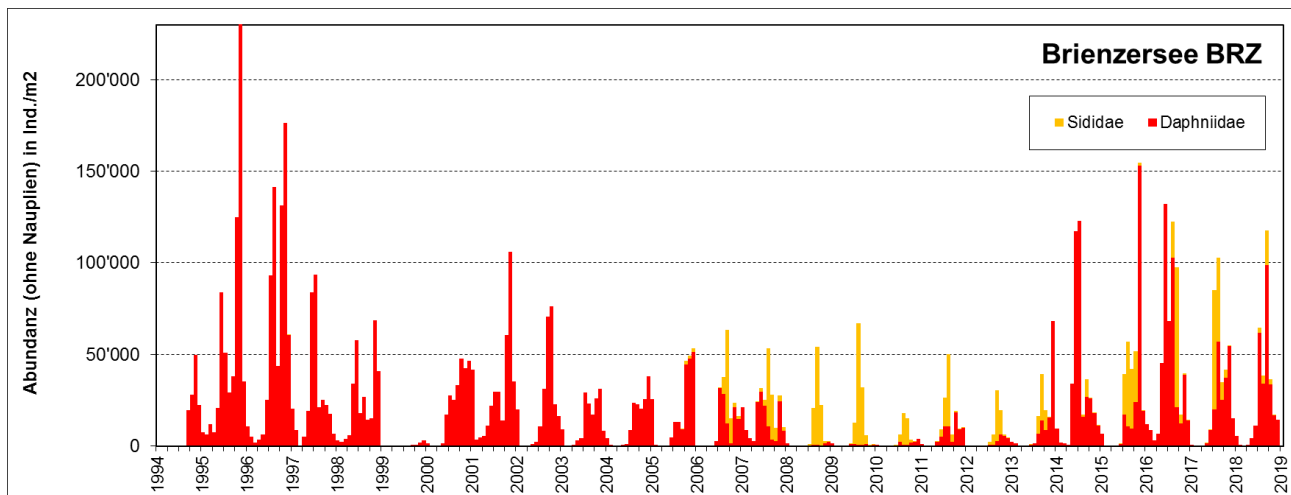


Abb. 47 Gesamtabundanz von *Daphnia* spp. und *Diaphanosoma brachyurum* im Brienzersee in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Im Brienzersee ist *Daphnia hyalina* die einzige filtrierende Cladoceren-Art und damit die Hauptnahrung für die Felchen. Deshalb wirkte sich der Ausfall der Population 1999 - 2000 und 2008 bis 2013 so deutlich aus. Die grossen Schneemassen im Winter 1999 führten zu einem grossen Hochwasser im Mai 1999 zur Hauptentwicklungszeit der Daphnien. So wurde die Frühsommerpopulation vermutlich ausgeschwemmt und zusätzlich die allfällig verfügbaren Dauereier zu sedimentiert. So konnten 1999 nur im Herbst wenige Daphnien beobachtet werden. Ab 2000 fiel dann die Sommergeneration weitgehend aus und ab 2008 auch die Herbstgeneration. Erst ab 2014 wurden Daphnien wieder im Sommer in grösserer Menge gezählt. Aber im Sommer 2015 war die Abundanz wieder sehr tief. Könnte diese Beobachtung mit der Spülung des Räterichsbodensees zusammenhängen? Ab 2016 zeigten die Daphnien wieder eine weitgehend "normale" Populationsentwicklung.

Interessant ist auch eine weitere Beobachtung: ab 2006 trat eher unerwartet mit dem Verschwinden der Daphnien *Diaphanosoma brachyurum* im Sommer und Herbst auf, übernahm also weitgehend den Platz der Daphnien als filtrierende Art im Brienzersee. Mit der Erholung der Daphnienbestände ging sie wieder etwas zurück und zeigt seither eine Art gegenläufige Entwicklung zu den Daphnien. Sind sie Nahrungskonkurrenten?

Im Thunersee erreichen die Daphnien eine ähnliche Abundanz wie im Brienzersee. Ausser einem starken Einbruch 2004-2006 weisen sie bis 2015 eine leicht sinkende Tendenz auf und steigen ab 2016 wieder leicht an.

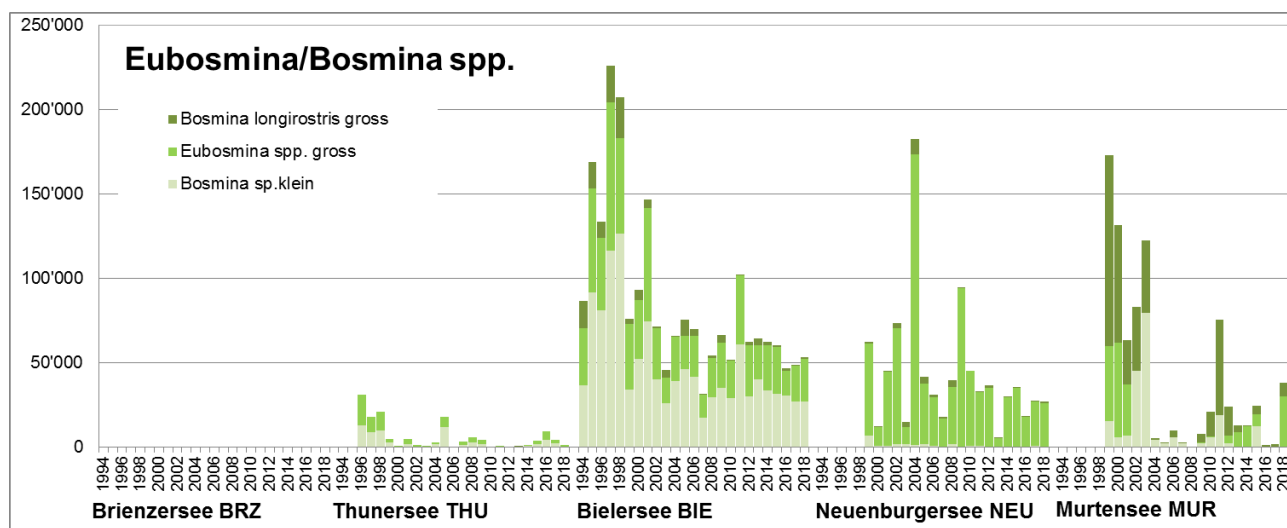
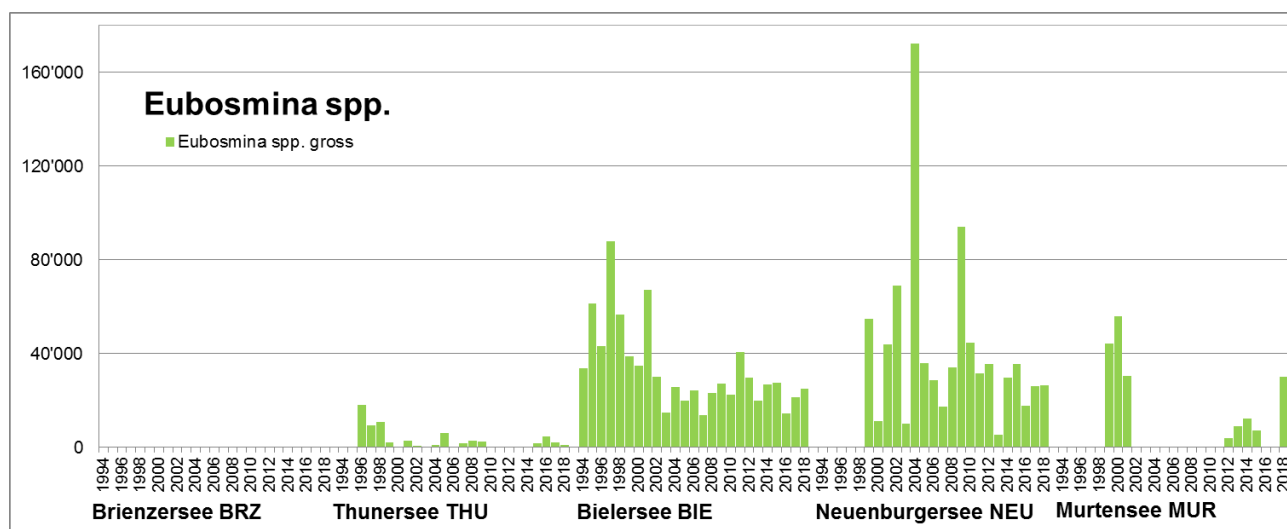
Deutlich höhere Abundanzen, Jahresmittel und -maxima um 100'000 bzw. ab 400'000 Ind./m², werden in den Jurarandseen erreicht. Die höchsten Abundanzen erreichte der Murtensee 1999 bis 2000, dafür ist hier auch der Rückgang am deutlichsten. Allerdings blieb die tiefere Abundanz dann bis 2018 weitgehend konstant. Im Bielersee zeigten sich verschiedene Phasen: Zunahme bis 1998 - Einbruch - Zunahme bis 2011 - Rückgang bis 2018. Im Neerburgersee sind die Daphnien weitgehend konstant mit grossen Schwankungen und einer Abnahme ab 2014.

Im Bielersee wurden auch die verschiedenen Formen (oder Arten) der Daphnien unterschieden bei den adulten Tieren (Anhang 4.2.5). Dabei zeigte sich, dass im Winter und Frühling primär die Formen ohne Cyclomorphose auftreten und im Sommer und im Herbst dann klar die für eutrophe Verhältnisse typischen *D. galeata* und *D. cucullata* dominieren.

Bosminidae

Abb. 48 bis 50, Datenanhang Kap. 4.2.6

Eubosmina longispina Nord-Europa, Alpen	Grosse, tiefe, nährstoffarme Seen, vereinzelt in Bergseen, pelagisch, hauptsächlich im Epilimnion, Vertikalwanderung; Kaltwasserform, ganzjährig, unregelmässig, Max im Frü	oligotroph	herbivor, filtriert;
Eubosmina coregoni Mitteleuropa, verbreitet	Verschiedene, nährstoffreiche Gewässer: Seen, grössere Teiche, Altwässer; Epilim- nion, planktisch; 1-2 Maxima zwischen Mai und Herbst, z.T. überwintend	verdrängt in den eutrophierten Alpenrandseen <i>E. longispina</i>	herbivor, filtriert;
Bosmina longirostris weltweit, häufig	Kleine eutrophe Seen, Teiche, in den Alpen bis subalpin, Litoral und Pelagial, in den Alpenrandseen nur Litoral; pelag. Populationen von Epi- bis Hypolimnion (Vertikalwan-derung); ganzjährig, Maxima im Frühsommer und evtl. Herbst	ersetzt in eutrophierten Seen <i>E. longispina</i> , eutroph	herbivor, filtriert;

Abb. 48 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Eubosmina/Bosmina* spp. in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Kap. XXX.Abb. 49 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Eubosmina* spp.(gross) in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

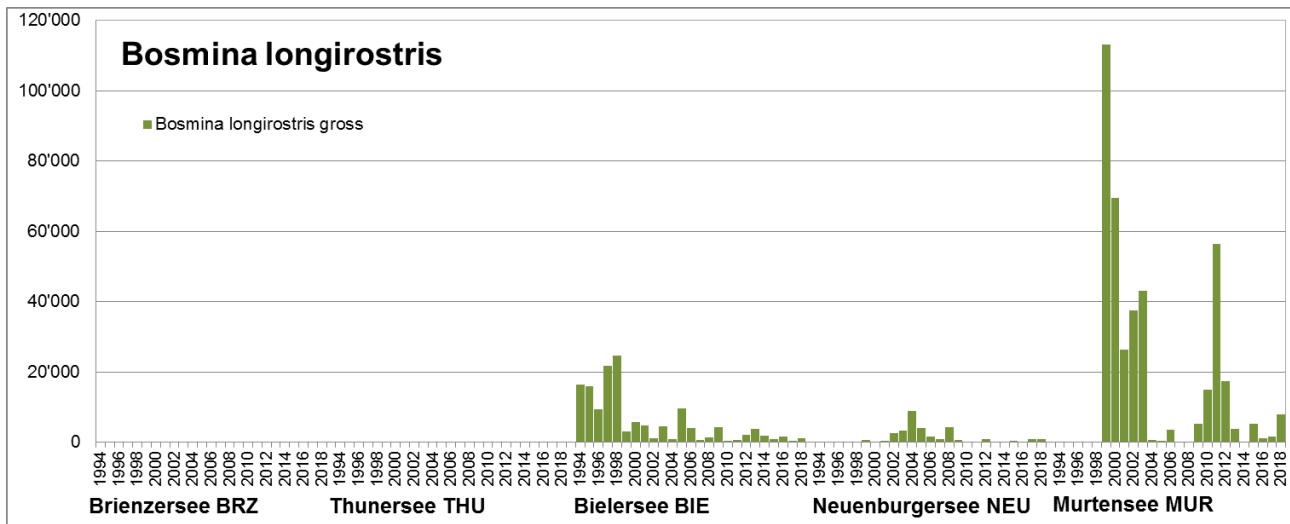


Abb. 50 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Bosmina longirostris* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Die Gattung *Bosmina* tritt in verschiedenen Arten auf. Dabei sind die Arten der Untergattung *Eubosmina* - *E. longispina* und *E. coregoni* - oft sehr schwierig zu unterscheiden und wurden deshalb zusammengefasst. Die Art *Bosmina longirostris* (BR) ist relativ einfach davon zu unterscheiden, allerdings erhöht sich der Zählaufwand beträchtlich, wenn auch die juvenilen Individuen aufgetrennt würden. In den früheren Untersuchungen sind meist nur Daten zu *Bosmina* sp. verfügbar.

Eubosmina longispina (BS) kann auch bei eher oligotrophen Bedingungen grössere Maxima bilden, während *Bosmina longirostris* dies nur bei optimalen Nahrungsbedingungen in eutrophen Seen tut. Beide Arten zeigen sehr grosse Bestandesunterschiede von Jahr zu Jahr und meist ein oder mehrere kurze Maxima im Sommer. Im Winter ist die Abundanz meist gering.

Im Thunersee ist nur die Form *Eubosmina longispina* zu beobachten. Sie erreichte nur in den Jahren 1996-1998 und 2005 relativ hohe Maxima und fehlte von 2010 bis 2013 fast völlig. Die Population scheint damit zwar immer präsent, aber nicht sehr stabil zu sein.

Die langfristige Entwicklung von *Bosmina* spp. im Bielersee zeigte 1974/75 eher geringe Abundanzmaxima, eine sehr dominierende Rolle 1978 und relativ hohe Maxima 1987/88 und 1994-98. Anschliessend gingen die Jahresmaxima zurück um etwa 300'000 Ind./m² und in den Jahren noch weiter auf etwas über 100'000 Ind./m². Der Anteil von *Bosmina longirostris* an der Population ging sehr deutlich zurück. Diese Beobachtung deutet auf Effekte der Reoligotrophierung hin.

Ähnliche Beobachtungen gelten auch für den Neuenburgersee und Murtensee. Im Neuenburgersee nahm die Abundanz der *Bosminidae* von 1999 bis ca. 2005 eher zu und dann wieder ab, die Werte lagen in einem ähnlichen Bereich wie im Bielersee, der Anteil von *Bosmina longirostris* erreichte nur geringe Werte. Im Murtensee waren hingegen extreme Maxima hauptsächlich von *Bosmina longirostris* in den Jahren 1999 bis 2003 und 2012 zu beobachten, dazwischen lagen Jahre fast ohne *Bosminidae*. Diese extremen Schwankungen sind grundsätzlich typisch für eutrophere Gewässer.

Diaphanosoma brachyurum

Abb. 51, Datenanhang Kap. 4.2.7

holarktisch, häufig	planktische Art; typisch in Teichen und Weihern, aber auch in nicht zu nährstoffarmen Seen, Epilimnion, kleine Vertikalwanderung, z.T. auch im Litoral; gemässigte Warmwasserart, 1 Maximum im Sommer/Herbst	vermutlich gefördert durch gewisse Eutrophierung	herbi-/detritivor, filtriert Mikroalgen, Detritus und Bakterien
------------------------	--	--	--

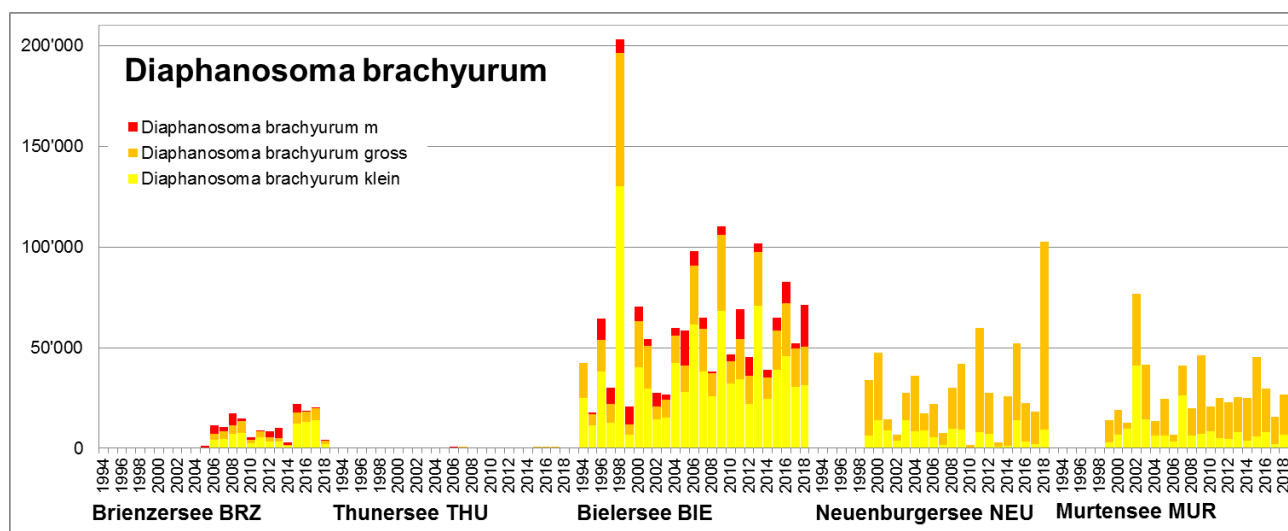


Abb. 51 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Diaphanosoma brachyurum* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Diaphanosoma brachyurum (DB) ist eher eine Art aus Kleingewässern. Sie kommt neben dem Bielersee auch im Neuenburgersee, im Sempacher- und Greifensee, im Moos- und Gerzensee, im Sängeliweiher sowie früher im Bodensee (1950) vor.

DB bildet jeweils ein Maximum im Spätsommer aus, am Anfang treten kleine Stadien und Weibchen auf, gegen Ende sind dann die Männchen häufiger und die letzten Individuen verschwinden im November. DB lebt hauptsächlich im Epilimnion.

DB fehlte ursprünglich im Pelagial der oligotrophen Alpenrandseen. Im Brienersee hat sie aber mit dem Ausfall der Daphnien ab 2005 deren Platz eingenommen (vgl. Abb. 47). In den letzten Jahren scheint ihre Abundanz jeweils geringer zu sein, wenn viele Daphnien vorhanden sind. Im Thunersee konnte sie bis heute nur vereinzelt gefunden werden.

In mesotrophen Verhältnissen scheint sie ihr Optimum zu haben, während sie bei starker Eutrophierung verschwindet. Im Bielersee wurde sie in den alten Berichten erwähnt. 1974 und 1978 fehlte sie. Ab 1987 trat sie wieder auf mit stark schwankenden Beständen von Jahr zu Jahr. Im Neuenburger und Murtensee sind die Abundanzen etwas tiefer, die Schwankungen aber ebenfalls sehr stark.

Leptodora kindtii

Abb. 52, Datenanhang Kap. 4.2.8

verbreitet	Seenpelagial grösserer Seen, z.T auch freie Wasserfläche von gösseren Teichen, epilimnisch, Vertikalwanderung; Sommerform, Juni bis Nov	Zahlreich in eutrophen Gewässern, in oligotrophen Alpenrandseen eher weniger wichtig	Carnivor: Cladoceren und Copepoden
------------	---	---	--

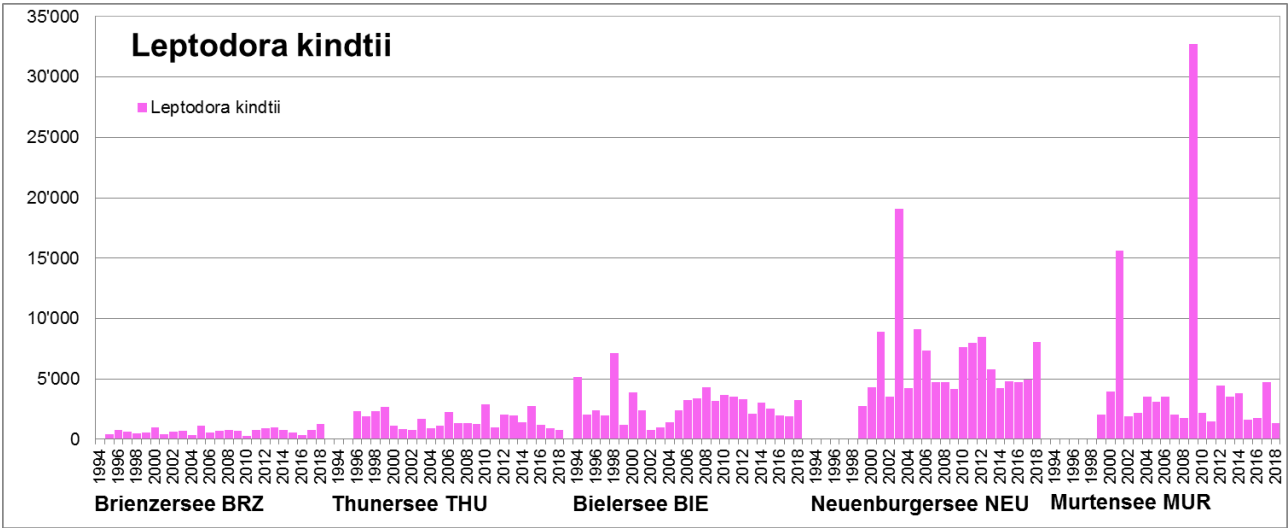


Abb. 52 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Leptodora kindtii* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Leptodora kindtii (LK) kommt im Epilimnion von grossen Seen vor. Sie ist eine reine Sommerform, die meist zwischen Mai und Oktober auftritt.

LK bevorzugt gemäss Literatur eutrophe Gewässer. Diese Aussage wird durch die Zunahme vom Brienersee zum Bielersee unterstützt. Allerdings ist die Abundanz im eutrophen Murtensee mit Ausnahme von zwei Extremjahren nicht höher als im Bielersee. Und der Neuenburgersee weist wie auch bei der andern grossen Raubcladocerenart *Bythotrephes longimanus* die höchsten Abundanzen auf.

Eine zeitliche Veränderung ist bei *Leptodora kindtii* nicht feststellbar. Einzig die extremen Maxima sind verschwunden, die Jahresmittel sind gleichmässiger.

Bythotrephes longimanus

Abb. 53, Datenanhang Kap. 4.2.9

Nordeuropa, Alpen-(vorland)	In eher grösseren und tieferen Seen, rein planktisch, Vertikalwanderung (tagsüber tief); meist Apr - Dez, Maximum Jun-Okt	Oligotroph bis mässig eutroph	Carnivor (planktisch Crustaceen); Dauereier
--------------------------------	--	-------------------------------------	--

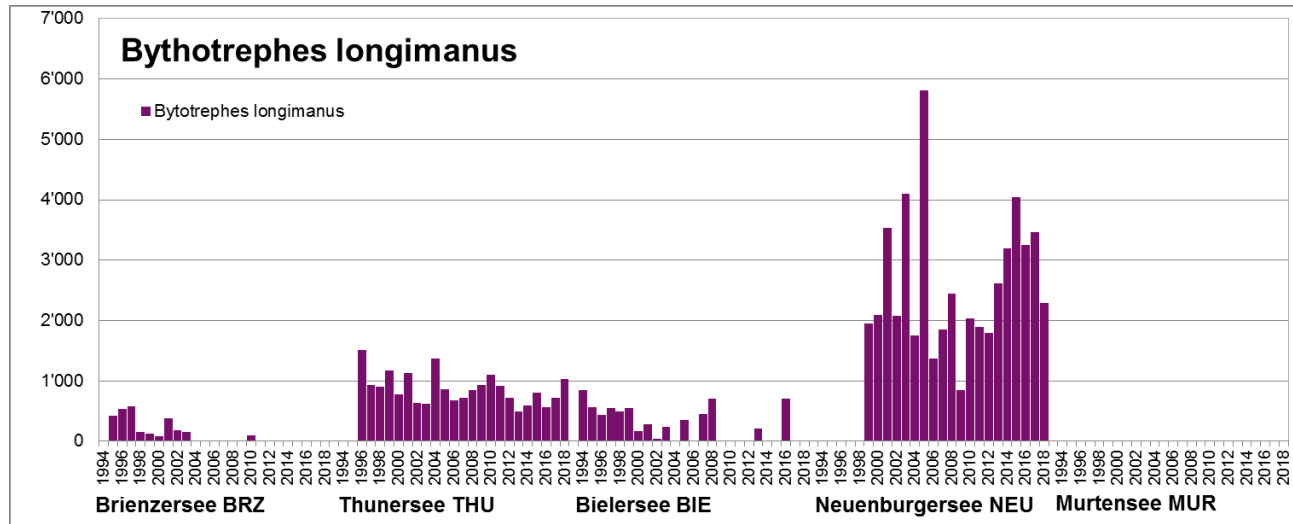


Abb. 53 Jahresmittel der Gesamtabundanz von *Bythotrephes longimanus* in Individuen/m² für die untersuchte Tiefenzone gemäss Tab. 4.

Bythotrephes longimanus (BY), als zweite Raubcladocerenart, kommt auch nur in grossen Seen vor, scheint aber zum Teil in hocheutrophen Gewässern zu fehlen (z.B. Sempachersee, Greifensee). Darauf deutet auch das Fehlen im Murtensee hin.

BY ist weniger deutlich an die Sommermonate gebunden als *Leptodora kindtii* und kommt auch in tieferen Wasserschichten vor.

Im Brienzensee ist BY etwa 2004 weitestgehend verschwunden, eine Ursache ist nicht feststellbar. Auch im Bielersee ist BY ab 2009 nur noch unregelmässig anzutreffen. Im Thunersee ist ein leichter Abwärtstrend zu beobachten. Einzig im Neuenburgersee tritt BY nach wie vor in hoher Abundanz auf. Offensichtlich stimmen hier Nahrungsangebot - andere Crustaceen - und Sicht- bzw. Tiefenverhältnisse sehr gut.

8.5 Entwicklung des Crustaceenplanktons im Untersuchungszeitraum - Fazit und offene Fragen

Die langjährigen Untersuchungen des Crustaceenplanktons dokumentieren die Entwicklung in den 5 Seen. In der Regel sind die dabei beobachteten Veränderungen eher unauffällig und betreffen oft einzelne Arten und weniger die Gesamtvorkommen und die Verteilung der Hauptgruppen. In der Untersuchungsperiode 2008 bis 2018 sind aber doch zwei sehr interessante Entwicklungen aufgetreten.

Eine ist die **Entwicklung der Daphnien im Brienzersee**. Nach einem fast totalen Ausfall der Daphnien im Jahr 1999, das vom Lawinenwinter und den Mai-Hochwassern geprägt war, fehlte in den Folgejahren die Sommergeneration. Ab 2008 waren diese Wasserflöhe dann fast völlig verschwunden. Erst ab Herbst 2013 zeigte sich eine bis heute anhaltende Erholung der Bestände – mit Ausnahme eines Aussetzers im Sommer 2015 nach der Spülung des Stausees Räterichsboden im Grimselgebiet. Interessanterweise entwickelte aber genau in dieser Zeit ohne Daphnien der Springwasserfloh *Diaphanosoma brachyurum* grosse Bestände im Pelagial des Brienzersees, die sich mit der Wiedererholung der Daphnien wieder verkleinern (Abb. XXX). Stehen die beiden Arten im Pelagial wirklich in Konkurrenz?

Die andere ist das neue Auftreten und die darauf folgende starke Zunahme des kleinen Hüpferlings ***Thermocyclops crassus***, ab 2006 im Bielersee und ab 2011 im Murtensee. Im heissen Sommer 2018 wurden die höchsten Besiedlungsdichten beobachtet (Abb. XXX). Gemäss der Fachliteratur liegen die bevorzugten Temperaturen des *Thermocyclops crassus* zwischen 25 und 30 Grad Celsius – dies bei einer normalen Temperaturspanne von 21 bis 32°Grad. Diese Entwicklung deutet darauf hin, dass die im Zuge des Klimawandels tendenziell steigenden Wassertemperaturen die Zuwanderung und Ausbreitung von wärmeliebenden Arten in unseren Gewässern begünstigen.

Generell bilden im **Brienzer-** und **Thunersee** die Copepoda mit Calanoida und Cyclopida die wichtigsten Gruppen des Crustaceen-Planktons und dominieren zahlenmässig klar. Im Sommer und Herbst erreichen aber auch die Daphnien recht hohe Anteile. Die zeitliche Entwicklung zeigt generell wenig deutliche Veränderungen. Im Brienzersee ging die Gesamthäufigkeit bis 2006 leicht zurück und steigt seither tendenziell wieder an. Der Thunersee zeigt insgesamt eine leicht abnehmende Tendenz und nach 2013 kaum mehr stärkere Massenentwicklungen einzelner Gruppen im Sommer.

In den **Jurarandseen** zeigt das Crustaceenplankton eine ganz andere Zusammensetzung. Neben den im Oberland bekannten Arten kommen viele weitere dazu. Zwar sind die Calanoida mit den gleichen Arten vertreten und kommen auch in ähnlichen Mengen vor, doch haben die Hüpferlinge im Seeland eine viel wichtigere Bedeutung. Innerhalb dieser Gruppe finden seit den 1970er-Jahren die grössten Verschiebungen hin zu Arten aus weniger stark gedüngten Gewässern statt. Ähnlich verläuft die Entwicklung auch bei den Blattfusskrebse, wo die Bestände der Daphnien und Bosminidae ebenfalls eine abnehmende Belastung des Sees mit Nährstoffen signalisieren.

Im **Bielersee** zeigt zwar die Gesamtabundanz keine abnehmende Tendenz, viele Taxa und Gruppen nehmen aber deutlich ab. Dies sind aber insbesondere Taxa die eutrophe Gewässer bevorzugen. Kompensiert wird dies aber durch die deutliche Zunahme von *Eudiaptomus gracilis* in den letzten Jahren. Im **Neuenburgersee** sind kaum Veränderungen zu beobachten ausser kurzfristigen Bestandesschwankungen. Am auffälligsten ist die Abnahme der Bosminidae. Am deutlichsten fällt die Veränderung im **Murtensee** aus. Der Rückgang von vielen auch häufigen Taxa kann nicht durch die Zunahme von *Thermocyclops crassus* kompensiert werden, so dass hier auch die Gesamtabundanz abnimmt.

Tab. 6 Beurteilung der Veränderung der Abundanz der einzelnen Arten im Zeitraum 2008 - 2018 aufgrund der Jahresmittelwerte:

++ deutliche Zunahme,

+ leichte Zunahme,

0 keine Veränderung (Schwankungen möglich),

- leichte Abnahme,

-- deutliche Abnahme,

x keine oder nur vereinzelte Beobachtungen

	BRZ	THU	BIE	NEU	MUR
Gesamt-Abundanz	+	-	0	0	-
Nauplien	+	-	0	0	--
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	-	--	++	0	0
<i>Mixodiaptomus laciniatus</i>	++	0	--	0	x
<i>Cyclops vicinus</i>	x	x	--	-	--
<i>Cyclops abyssorum</i>	0	-	--	0	--
<i>Cyclops bohater</i>	x	+	--	x	--
<i>Acanthocyclops robustus</i>	x	x	--	0	--
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	x	x	0	-	-
<i>Thermocyclops crassus</i>	x	x	++	+	++
<i>Daphnia</i> spp.	+	0	--	-	0
<i>Eubosmina</i> spp.	x	-	-	--	+
<i>Bosmina longirostris</i>	x	x	--	-	--
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	++	x	0	+	0
<i>Leptodora kindtii</i>	0	-	-	0	0
<i>Bytotrephes longimanus</i>	--	-	--	0	x

Bezüglich einzelner Arten sind neben den oben dargestellten Beobachtungen die folgenden Punkte oder auch Fragen von Bedeutung:

- Die beiden Calanoida-Arten *Eudiaptomus gracilis* und *Mixodiaptomus laciniatus* zeigen im Brienzer- und Bielersee jeweils gegenläufige Tendenzen, obschon sie eigentlich unterschiedliche Lebensräume bewohnen. Und *M. laciniatus* fehlt im Murtensee völlig. Hängt das mit der Tiefe und der Trophie der Seen zusammen?
- Wieso kommt *Diaphanosoma brachyurum* im Thunersee kaum vor? Ist die Konkurrenz durch die Daphnien oder Bosminidae dort zu gross? Wieso können sie dann aber im Bielersee nebeneinander existieren?
- Erstaunlicherweise ist die räuberische Cladocere *Bythotrephes longimanus* sowohl im Brienzer- wie auch im Bielersee fast verschwunden, im Murtensee konnte sie noch gar nicht beobachtet werden.

Trotz der langen Datenreihe und vieler Detailinformationen können aus verschiedenen Gründen auch wichtige Fragen nicht beantwortet werden. Diese werden in nächster Zeit in den Arbeitsgruppen von Bund und Kantonen intensiv diskutiert und führen möglicherweise auch zu Anpassungen der Probenahmen:

- Wie sieht die räumliche Verteilung des Crustaceenplanktons im See aus? Welche Rolle spielen die Uferzone und das Profundal mit ihrer ganz anderen Crustaceenpopulation? Wie sehen allfällige Austauschvorgänge aus?
- Welche Bedeutung hat das Crustaceenplankton wirklich im Nahrungsnetz der Seen? Welche Rolle spielen die Bakterien, die Protozoen und die Rotatorien?
- Wie können die Zusammenhänge zwischen Temperatur, Sauerstoffverhältnissen, Nährstoffverfügbarkeit, Phytoplankton und Zooplankton sinnvoll verknüpft werden zu einer gesamtheitlichen Beurteilung des Seezustandes?

8.6 Methodisches

8.6.1 Auswertungsunterlagen

Tab. 7 Auszählprotokoll GBL

See:		Datum:		Tiefe:		Parallele:	
Probeteil:		Meter:		Netz-Ø:		Anz. Netze:	
Auszählen:	Datum:		Zeit:		Nauplien:		
Art	C1-C3	C4+C5	F	FOV		M	
EG	Diaptomidae C1-C3	Eudiaptomus gracilis					
ML		Mixodiaptomus laciniatus					
CV	Cyclops/ Megacyclops C1-C3	Cyclops spp.	C. vicinus				
CA			C. abyssorum				
CB			C. bohater				
MG		Megacyclops spp.	M. gigas				
MV			M. viridis				
AR	kleine Cyclopidae	kleine Cyclopidae	Acanthycyclops robustus				
ML			Mesocyclops leuckarti				
Art	Klein	gross, ohne Eier		gross, mit Eier		mit Epphip.	
DH	Daphnia spp. kleiner 0.8 mm	D. hyalina					
DG		D. galeata					Männchen
DC		D. cucullata					
							Embryos
BS	Bosminidae kleiner als 0.4 mm	Eubosmina longispina					Männchen
BC		Eubosmina coregoni					
BR		Bosmina longirostris					Embryos
BY	Bytotrephes longimanus						
LK	Leptodora kindtii						
SC	Sida cristallina						
DB	Diaphanosoma brachyurum < 0.6 mm						M
DREISSE	Dreissena-Larven						

Tab. 8 Exceltabelle für Datenerfassung

Bielersee	von:	bis:		Netz: [m]	Anz. Netze	Probeteil:	Algen:		Zählung	Zusatzzählung für aufschwim
BIE4		70	Ganze Seeti	0.12	2	1	AAAA		Probeteil	Probeteil
14.06.2018	Faktor:		70	0.011310	1				0.0625	1
Name		Nr.	Individuen l/m3	Biomasse g/m3	Frischgew. µg/Ind.	Anzahl gezählt	Bio Qu	Syst. O F		
Nauplien		7022	4972	0.01318	2.65	7872	Bi	Co Di	492	
Diaptomidae		6901					Bi	Co Di		
Diaptomidae	C1-C3	6920	616	0.00867	14.07	976	Bi	Co Di	61	
Eudiaptomus	C1-C5	6903					Bi	Co Di		
Eudiaptomus	C1-C3	6902					Bi	Co Di		
Eudiaptomus	C4+C5	6904	394	0.01667	42.32	624	Bi	Co Di	39	
Eudiaptomus gracilis	F	6914	121	0.01235	102.09	192	Bi	Co Di	12	
Eudiaptomus gracilis	FOV	6922	91	0.01377	151.36	144	Bi	Co Di	9	
Eudiaptomus gracilis	M	6905	121	0.00865	71.45	192	Bi	Co Di	12	
Mixodiaptomus	juv	6911					Bi	Co Di		
Mixodiaptomus	C4+C5	6921	647	0.08258	127.64	1024	Bi	Co Di	64	
Mixodiaptomus laciniatus	F+FOV	6913			217.50		Bi	Co Di		
Mixodiaptomus laciniatus	M	6912	10	0.00137	137.27	16	Bi	Co Di	1	
								Co Di		
								Co Di		
								Co Di		
								Co Di		
Cyclops sp.		7001						Co Cy		
Cyclops	C1-C3	7006						Co Cy		
Cyclops / Megacyclops	C1-C3	7050	40	0.00089	22.36	64	Bi	Co Cy	4	
Cyclops	C4+C5	7007	81	0.00669	82.64	128	Bi	Co Cy	8	
Cyclops vicinus	F	7024	10	0.00151	151.18	16	Bi	Co Cy	1	
Cyclops vicinus	FOV	7005			217.36		Bi	Co Cy		
Cyclops vicinus	M	7004			53.82		Bi	Co Cy		
Cyclops bohater	F	7025			329.09		Bi	Co Cy		
Cyclops bohater	FOV	7026			447.27		Bi	Co Cy		
Cyclops bohater	M	7008			120.73		Bi	Co Cy		
Cyclops abyssorum	F	7023	10	0.00191	191.27	16	Bi	Co Cy	1	
Cyclops abyssorum	FOV	7060	40	0.00981	245.36	64	Bi	Co Cy	4	
Cyclops abyssorum	M	7002	81	0.00577	71.27	128	Bi	Co Cy	8	
Megacyclops sp.	C4+C5	7051			243.91		Bi	Co Cy		
Megacyclops gigas	juv	7012						Co Cy		
Megacyclops gigas	ad	7011						Co Cy		
Megacyclops sp.	F	7053			611.55		Bi	Co Cy		
Megacyclops sp.	FOV	7059			1131.73		Bi	Co Cy		
Megacyclops sp.	M	7052			273.64		Bi	Co Cy		
Acantho- / Mesocyclops	C1-C3	7054	212	0.00085	4.00	336	Bi	Co Cy	21	
Acantho- / Mesocyclops	C4+C5	7055	10	0.00022	21.55	16	Bi	Co Cy	1	
Acanthocyclops robustus	F	7056			79.55		Bi	Co Cy		
Acanthocyclops robustus	FOV	7058			96.00		Bi	Co Cy		
Acanthocyclops robustus	M	7057	30	0.00067	22.18	48	Bi	Co Cy	3	
Mesocyclops	juv	7010						Co Cy		
Mesocyclops leuckarti	F	7027	10	0.00050	50.45	16	Bi	Co Cy	1	
Mesocyclops leuckarti	FOV	7028	10	0.00057	56.55	16	Bi	Co Cy	1	
Mesocyclops leuckarti	M	7009	30	0.00063	21.00	48	Bi	Co Cy	3	
Eucyclops serrulatus	F	7061			80.70		Bi	Co Cy		
Thermocyclops crassus	F/M	7074			50.45		Mle	Co Cy		
Macrocyclus albidus	Ad	7078			79.55		AR	Co Cy		
								Co Cy		
								Co Cy		
Canthocamptus staph.		7101			18.63		Bi	Co Ha		
								Co Ha		

Leptodora kindtii	juv	6802	51	0.02785	546.15	80	Bi	CI	Le	5	
Leptodora kindtii	ad	6801	20	0.03182	1590.77	32	Bi	CI	Le	2	
Sida cristallina	klein	6566			58.77		Bi	CI	Si		
Sida cristallina	gro,oE	6539			632.15		Bi	CI	Si		
Sida cristallina	gro,mE	6565			1024.46		Bi	CI	Si		
Diaphanosoma br.	klein	6554	51	0.00063	12.31	80	Bi	CI	Si	5	
Diaphanosoma br.	gro,oE	6529	51	0.00160	31.38	80	Bi	CI	Si	5	
Diaphanosoma br.	gro,mE	6555			47.69		Bi	CI	Si		
Diaphanosoma br.	m	6528			31.38		goE	CI	Si		
Daphnia sp.	klein	6517	889	0.02418	27.20	1408	Bi	CI	Da	88	
Daphnia sp.	gro,oE	6552			210.20		Bi	CI	Da		
Daphnia sp.	gro,mE	6567			282.60		Bi	CI	Da		
Daphnia mit Ehippien		6527			282.60			CI	Da		
Daphnia sp.	m	6551			66.00		Bi	CI	Da		
<i>Daphnia hyalina</i>	klein	6523						CI	Da		
Daphnia hyalina	gro,oE	6522	869	0.21430	246.60	1376	Bi	CI	Da	86	
Daphnia hyalina	gro,mE	6518	243	0.08500	349.80	384	Bi	CI	Da	24	
Daphnia galeata	klein	6521						CI	Da		
Daphnia galeata	gro	6520	283	0.05504	194.50	448	Bi	CI	Da	28	
Daphnia cucullata	gro	6519	51	0.00885	173.60	80	Bi	CI	Da	5	
Daphnia longispina	gro	6524			246.60		Bi	CI	Da		
Ceriodaphnia sp.		6512			61.38		Bi	CI	Da		
Scapholeberis mucronata		6538			138.39		Vm	CI	Da		
Simocephalus sp.		6541			246.60		DH	CI	Da		
								CI	Da		
								CI	Da		
Bosmina sp.	klein	6543	738	0.01299	17.60	1168	Bi	CI	Bo	73	
Bosmina sp.	gro,oE	6542			49.40		Bi	CI	Bo		
Bosmina sp.	gro,mE	6553			68.40		Bi	CI	Bo		
Bosmina sp.	m	6550			17.60		Bi	CI	Bo		
<i>Bosmina longispina</i>	klein	6547					Bi	CI	Bo		
Bosmina longispina	gro,oE	6562	20	0.00138	69.00	32	Bi	CI	Bo	2	
Bosmina longispina	gro,mE	6546			102.20		Bi	CI	Bo		
<i>Bosmina coregoni</i>	klein	6545					Bi	CI	Bo		
Bosmina coregoni	gro,oE	6563	556	0.03836	69.00	880	Bi	CI	Bo	55	
Bosmina coregoni	gro,mE	6544	71	0.00726	102.20	112	Bi	CI	Bo	7	
<i>Bosmina longirostris</i>	klein	6549					Bi	CI	Bo		
Bosmina longirostris	gro,oE	6564	101	0.00299	29.60	160	Bi	CI	Bo	10	
Bosmina longirostris	gro,mE	6548			34.60		Bi	CI	Bo		
								CI	Bo		
								CI	Bo		
Bythotrephes	juv	6804			215.38		Bi	CI	Ce		
Bythotrephes	ad, oE	6803			730.77		Bi	CI	Ce		
Bythotrephes	ad, mE	6809			1396.92		Bi	CI	Ce		
Polyphemus pediculus	juv	6805			1800.00		Pf	CI	Po		
Alonella sp.		6507			71.20		Bi	CI	Ch		
Alonella nana		6508			71.20		Bi	CI	Ch		
Alona affinis		6505			115.00		Bi	CI	Ch		
Chydorus sphaericus		6515			43.80		Bi	CI	Ch		
Chydorus sp.		6514			88.63		Bi	CI	Ch		
Alona quadrangularis		6503			115.00		Aa	CI	Ch		
Macrothrix sp.		6600			65.00		Ma	CI	Ch		
Graptoleberis testudinaria		6501			43.80		Scf	CI	Ch		
Pleuroxus uncinatus		6537			88.63		Chs	CI	Ch		
Disparalona rostrata		6580			71.20		Alot	CI	Ch		
Dreissena polymorpha		5999	616	0.00000	0.00	976				61	
Summen:			Ind./m3	g/m3	g/m2						
Nauplien			4972	0.0132	0.9223						
Calanoida			2000	0.1441	10.0848						
Cylopoida			564	0.0300	2.1020						
Harpacticoida											
Copepoda (ohne Nauplien)			2564	0.1741	12.1869						
Copepoda			7536	0.1873	13.1092						
Daphniidae			2335	0.3874	27.1162						
Bosminidae			1486	0.0630	4.4085						
Leptodoridae			71	0.0597	4.1768						
Sididae			102	0.0022	0.1560						
Cercophagidae											
weitere Cladocera											
Cladocera			3994	0.5123	35.8575						
Crustacea (ohne Nauplien)			6558	0.6863	48.0444						
Crustacea			11530	0.6995	48.9667	19232				1202	

9 Datenanhang

Im Datenanhang sind detaillierte Grafiken und Tabellen zu den monatlichen Ergebnissen zusammengestellt.

Er wird als eigene Datei geführt mit den folgenden Kapiteln:

- 1 Kenndaten der Seen / Données caractéristiques des lacs
- 2 Chemische Untersuchungen / Analyses chimiques
- 3 Phytoplankton
 - 3.1 Gesamtbiomasse
 - 3.2 Algengruppen
 - 3.3 Taxalisten
- 4 Crustaceenplankton
 - 4.1 Gesamtabundanzen
 - 4.2 Die Crustaceen-Arten
 - 4.2.1 Nauplien
 - 4.2.2 Calanoida
 - 4.2.3 Cyclops vicinus/abyssorum/bohater
 - 4.2.4 Acanthocyclops sp./Mesocyclops leuckartii/Thermocyclops crassus
 - 4.2.5 Daphnia spp.
 - 4.2.6 Eubosmina spp./Bosmina longirostris
 - 4.2.7 Diaphanosoma brachyurum
 - 4.2.8 Leptodora kindtii
 - 4.2.9 Bythotrephes longimanus
 - 4.3 Datentabellen