

Abschließender Sachbericht

Klimagetriebene Veränderungen der Biodiversität von Mikrobiota - TemBi

Leibniz-Einrichtung: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im
Forschungsverbund Berlin e. V.

Aktenzeichen: SAW-2011-IGB-2

Projektlaufzeit: 01.07.2011 – 30.06.2014 (kostenneutral verlängert bis 31.12.2014)

Ansprechpartner: Dr. Peter Casper, Prof. Hans-Peter Grossart

1. Executive summary	
2. Zielsetzung des Vorhabens	1
3. Entwicklung der durchgeführten Arbeiten	1
4. Darstellung ausgewählter Ergebnisse	
TP 1 Hydrodynamik.....	3
TP 2 Cyanobakterien, Primärproduktion.....	5
TP 3 Pelagische Bakterien	7
TP 4 Mikroorganismen im Sediment	9
TP 5 Phytoplankton	11
TP 6a Pelagisches Zooplankton und Protisten.....	12
TP 6b Protisten.....	14
TP 7 Metagenomanalyse.....	16
5. wirtschaftliche Verfügbarkeit	18
6. Kooperationspartner	18
7. Qualifikationen	18
8. Publikationen	18
9. Pressemitteilungen und Medienberichte	19

1. Executive summary

Das vorliegende Projekt (TemBi) beschäftigte sich mit den durch das Klima getriebenen Effekten auf die mikrobielle Gemeinschaft, insbesondere des Stechlinsees. Dabei standen drei unterschiedliche Ebenen im Vordergrund: i) die Vergangenheit, ii) die Gegenwart und iii) die Zukunft.

i) Klima-Effekte der Vergangenheit konnten durch die mehr als 50-jährige Messreihe im Stechlinsee nachverfolgt werden, wobei mittels des Modells „Flake“ Veränderungen in der thermischen Schichtung, u.a. während des Betriebes des Kernkraftwerkes Rheinsberg, detailliert nachvollzogen wurden. Weiterhin wurde das Sediment des Stechlinsees als Archiv für Organismen und Spurenstoffe genutzt, um langfristige klimatische Veränderungen in den biogeochemischen Prozessen des Stechlinsees nachzuverfolgen. Bei beiden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass der Betrieb des Kernkraftwerkes einen erheblichen Einfluss auf die thermische Schichtung und somit auf die Organismengemeinschaft und die durch sie angetriebenen biogeochemischen Prozesse des Sees ausübte. In den Langzeitdatenreihen zeigt sich auch, dass der Stechlinsee seit dem Abschalten des Kernkraftwerkes Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts auch heute noch in einer Umbruchsphase begriffen ist. Dies zeigt sich besonders deutlich in den Veränderungen der Phytoplanktongemeinschaften, insbesondere den filamentösen Blaualgen.

ii) Untersuchungen zur pelagischen Copepodenart *Euryptemus lacustris*, die zur Gruppe der Eiszeitrelikte gehört, deutet auf gegenwärtige Veränderungen des Klimas hin, was sich in der momentanen Verbreitung dieser Art in nordeuropäischen Seen widerspiegelt. Als Eiszeitrelikt reagiert diese Art besonders sensitiv auf Veränderungen in der Wassertemperatur sowie der thermischen Schichtung der Seen. Auch die gegenwärtige Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft des Stechlinsees, vor allem die Ausbildung eines durch mehrere Arten gebildeten Tiefenchlorophyllmaximums (DCM) deutet auf eine Veränderung in den thermischen Verhältnissen des Stechlinsees hin. Dies wird auch durch hydrodynamische Modellieransätze bestätigt. Messungen zur Sedimentationsdynamik lassen vermuten, dass sich Veränderungen in der Planktongemeinschaft direkt auch auf die biogeochemischen Kreisläufe im Sediment des Sees auswirken.

iii) Entsprechend den Klimaprognosen konnten mit Hilfe des Seelabors (www.seelabor.de) die thermodynamische Schichtung des Stechlinsees verändert werden und die Auswirkungen auf die Physik, Chemie und Biologie des Sees detailliert untersucht werden. In drei Großexperimenten konnten die Effekte einer veränderten Turbulenz (2012), einer Vertiefung des Epilimnions durch Absenkung der Thermokline (2013) und die Effekte eines Sommersturmereignisses auf pelagische Nahrungsnetze untersucht werden. Bei der Durchführung wurden neben einer technischen Weiterentwicklung der großtechnischen Anlage auch interessante wissenschaftliche Ergebnisse erzielt. Insbesondere das letzte Experiment in 2014 zeigt eindrucksvoll die ökologischen Auswirkungen eines außergewöhnlichen Sommersturmes, wie er auch im Sommer 2011 (Otto) im Stechlinsee auftrat. Insbesondere die Einmischung von Nährstoffen aus dem Hypolimnion und von Phytoplankton aus dem Metalimnion begünstigte die Entwicklung einer Cyanobakterienblüte (insbesondere *Dolichospermum* sp.), die zu einem erhöhten Metabolismus und Nährstoff-Recycling im Epilimnion führte. Die dadurch verminderte Sedimentation von organischem Material (trotz höherer Algenproduktion) führt zu einer starken Veränderung im Kohlenstoff- und Energiefluss des Sees. Durch die durchgeführten Experimente können zukünftige ökologische Auswirkungen von klimabedingten Ereignissen und Veränderungen besser abgeschätzt und bewertet werden. Unsere Ergebnisse stellen daher eine gute wissenschaftliche Grundlage für ein nachhaltigeres Seenmanagement in der Zukunft dar.

2. Zielsetzung des Vorhabens

Das Wissen um die Veränderung des Klimas, das neben der Erhöhung der Temperatur auch zu Extremereignissen führt, wirft die Frage auf, wie sich diese Phänomene auf das Ökosystem „Binnengewässer“ auswirken. Die Veränderung physikalischer Grundmuster, wie der thermischen Schichtung des Wasserkörpers, werden sich auf aquatische Organismen und die damit verbundenen biologischen Prozesse auswirken. Im Mittelpunkt des Projektes „TemBi - Klimabedingte Veränderungen der Biodiversität von Mikrobiota“ standen Mikroorganismen, deren kurze Generationszeiten schnelle Reaktionen messbar machen. Um solche Veränderungen nachvollziehbar zu gestalten, wurde eine erst zu Beginn des Projektzeitraumes installierte grosse und weltweit einzigartige Experimentalanlage im nährstoffarmen Stechlinsee, das Seelabor (www.seelabor.de), für die Simulation physikalischer Änderungen durch Klimawandel, erstmalig genutzt. Zusätzlich gelang es, die molekular-biologischen Methodiken zur Analyse der aufwändigen komplexen Metagenom- und Metatranskriptomanalysen für die Konsolidierung der Erkenntnisse zur Biodiversität und die Identifikation spezifischer funktioneller Gene mittels ‚Next-generation-sequencing‘ so zu entwickeln und anzupassen, dass einerseits ältere DNS aus Sedimentkernen und andererseits ein hoher Probandendurchsatz etabliert werden konnte. Die Realisierbarkeit sowohl der Simulationsexperimente als auch der Sequenzierungen war zu Beginn des Projektes mit hohem Risiko behaftet. Die erfolgreiche Umsetzung beider übergreifender Techniken ermöglichte die Arbeiten zur Diversität der verschiedenen Mikroorganismengruppen und der damit verbundenen Prozesse in den verschiedenen Teilprojekten.

3. Entwicklung der durchgeführten Arbeiten

Der Schwerpunkt der Experimente im TemBi-Projekt waren die großen Simulationsversuche im Seelabor. Im Jahre 2012 wurde die Anlage installiert. In einem ersten Experiment in dem zuerst fertiggestellten Abschnitt wurde eine permanente Durchmischung des gesamten Wasserkörpers nachgestellt. Dieses Experiment war jedoch durch die noch laufenden Arbeiten nicht störungsfrei umzusetzen. Trotzdem wurden einige interessante Ergebnisse erzielt.



Abb. 1: Seelabor im Stechlinsee: links Sprinkler-Ring, der im Experiment 2013 verwendet wurde; rechts Luftaufnahme mit Arbeitsfloß

Im Jahr 2013 wurde das im Projektantrag vorgeschlagene Experiment, die Absenkung der thermischen Sprungschicht, durchgeführt. Dazu wurden in einem Satz Versuchszylinder (6 Stck) die Thermokline um 2 m gegenüber der natürlich im See existierenden Schicht nach unten verlagert. Zu diesem Zweck wurde warmes Oberflächenwasser durch Sprinklerringe in die betreffende Schicht gepumpt. Wegen der geringeren Dichte des warmen Wasser stieg dieses auf und sorgte durch Konvektion für eine Durchmischung des gesamten darüber befindlichen Wasserkörpers. Um Effekte des Pumpens und der Wasserbewegung auszuschlie-

ßen, wurden in 6 Kontrollzylindern die Wasserschichten entsprechend der natürlichen Tiefe der Sprungschicht ebenfalls durchmischt.

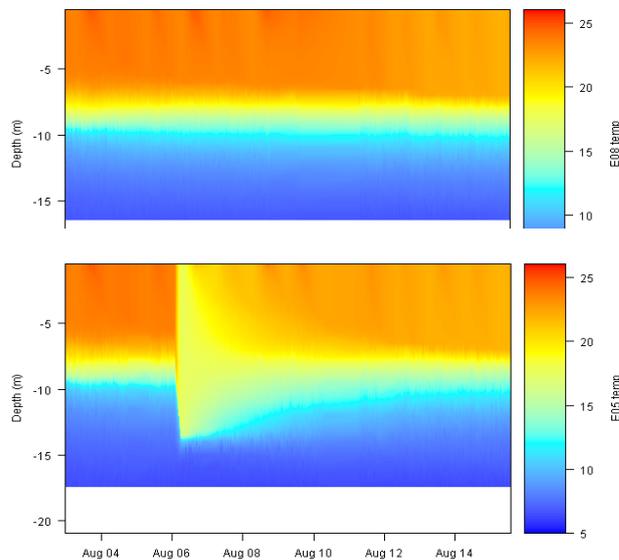


Abb. 2: Simulation eines Sturmereignis 2014 –Temperaturverteilung im Kontrollenclosure (oben) und Versuchenclosure (unten).

Im Jahr 2014 fand ein Experiment zum Extremereignis ‚Einmischung von Tiefenwasser durch Sturm‘ statt. Hintergrund war die Beobachtung eines realen Sturmereignisses 2011 im Stechlinsee, das zur Einmischung einer tieferen Cyanobakterienmasse in das Oberflächenwasser führte. Als Ergebnis kam es zur Bildung von Kalziumkarbonat (Calcit) mit den Folgen einer dramatisch verringerten Sichttiefe. Es gelang, die natürliche Situa-

tion des Jahres 2011 im Stechlin im Rahmen des Experiments nachzustellen und Effekte auf Biologie und Chemismus des Wasserkörpers auszulösen.

Neben den Arbeiten im Seelabor wurden weitere Untersuchungen, wie die umfassende Untersuchung von Sedimentkernen oder die Temperatursensitivität spezifischer Organismen (z.B. des Eiszeitreliktes *Eurytemora lacustris* durchgeführt.

Während der Projektphase fanden regelmäßige Treffen aller Beteiligten und verschiedener Gäste, die das Versuchsdesign für weitere Untersuchungen nutzten, statt. Zwei der Treffen organisierten wir als Workshops und luden international führende Wissenschaftler dazu ein (Prof. Frede Thingstad, Universität Bergen, Norwegen und Prof. Beatrix Beisner, Universität Montreal-Quebec, Kanada).

Das ursprüngliche Forschungskonzept konnte umgesetzt werden. Die risikobehafteten Komponenten sind erfolgreich realisiert worden. Durch die Vielzahl der Proben konnten noch nicht sämtliche ausgewertet werden, im Rahmen der anstehenden Graduierungsarbeiten werden deshalb weitere Daten analysiert und Publikationen erscheinen.

4. Darstellung ausgewählter Ergebnisse

Teilprojekt 1: Hydrodynamik, G. Kirillin, C. Engelhardt; IGB Berlin

Im Teilprojekt 1 wurde untersucht, welchen generellen Einfluss die globale Erwärmung der Atmosphäre auf das saisonale Wärme- und Mischungsregime eines Sees hat, indem lange Zeitreihen analysiert und Modellsimulationen durchgeführt wurden. Weiterhin wurden die während des Projektverlaufs in den Enclosures des Seelabores und im offenen See gemessenen Daten genutzt, um die Mischungsmechanismen in abgeschlossenen Wasservolumina mit denen unter unbeeinflussten, natürlichen Bedingungen zu vergleichen und quantitativ zu charakterisieren. Die Ergebnisse des Teilprojekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

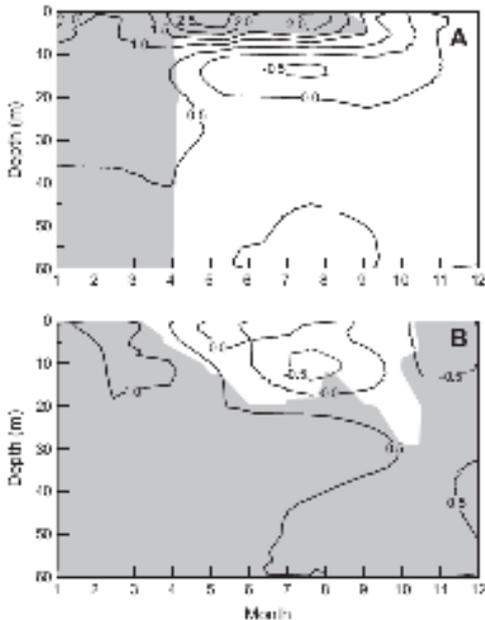


Abb. 3: Temperaturanstieg (°C) basierend auf monatlichen Mittelwerten als Folge der Klimaerwärmung (A) und des AKW (B) als Funktion der Seetiefe und der Monate. Die dunklen Flächen zeigen Regionen, in denen der Temperaturanstieg statistisch signifikant ($p < 0,005$, t-Test). Die Konturen in (A) zeigen den mittleren Temperaturanstieg (°C) für den Zeitraum nach dem AKW (1991-2009) verglichen mit der Periode vor dem AKW-Betrieb (1958-1965). Während in (B) der Zeitraum des Betriebes des AKW (1966-1990) verglichen mit den Zeiten ohne Betrieb (1958-1965 plus 1991-2009) dargestellt ist. Negative Werte zeigen eine Temperaturverminderung.

Um die klimagetriebenen thermischen Trends in den Seen der gemäßigten nördlichen Breiten abschätzen zu können, haben wir den kombinierten Effekt von regionaler Klimaerwärmung und Wärmebelastung am Beispiel des Stechlinsees untersucht, der zwischen 1966 und 1990 in den Kühlwasserkreislauf des Kernkraftwerkes Rheinsberg eingebunden war. Dabei konnte auf über 50-jährige

Temperaturmessreihen der limnologischen Forschungseinrichtung und das physikalische Seenmodell ‚Flake‘ zurückgegriffen werden.

Sowohl die statistische Analyse, als auch die Modellsimulationen haben einen früheren Beginn der sommerlichen Schichtung im See als Folge der klimatischen Veränderungen ergeben. Gleichzeitig verringert die Klimaerwärmung die Dicke der Sprungschicht (ohne jedoch die Tiefe der durchmischten Schicht zu beeinflussen) und erhöht den Temperaturgradienten innerhalb der Sprungschicht. Der Wärmefluss aus dem Kernkraftwerk in den See verschob die durchmischte Schicht und die obere Grenze des Hypolimnions näher zur Oberfläche ohne die Dicke der Sprungschicht zu verändern. Der Temperaturgradient innerhalb der Sprungschicht blieb dabei unbeeinflusst. Somit bewirkt die Klimaerwärmung (im Gegensatz zur thermischen Belastung durch eingeleitetes Kühlwasser) eine signifikante Stabilisierung der sommerlichen Schichtung im Stechlinsee. Sowohl die thermische Belastung, als auch die Klimaerwärmung verlängern die Dauer der Sommerschichtung im See.

Die Rolle der optischen Eigenschaften des Wassers (Trübung) für den vertikalen Wärmetransport und die saisonalen Schichtungseigenschaften des Stechlinsees unter den Bedingungen des Klimawandels standen im Fokus einer weiteren Untersuchung (**Abb. 3**). Hier wurden Feldmessungen aus einem Zeitraum von 35 Jahren verwendet, um mit Hilfe des FLake-Modells abzuschätzen, inwieweit die thermische Struktur von Seen der gemäßigten Klimazone durch die Variabilität der Trübung beeinflusst ist. Diese wird besonders von der Phytoplanktonblüte im Frühjahr, deren Zusammenbruch durch Zooplanktonfraß und das anschließende Klarwasserstadium gekennzeichnet. Einen großen Einfluss hat dabei das Klarwasserstadium, welches die Schichtung zu Beginn des Sommers schwächt und gelegentlich einen Wechsel vom dimiktischen zum polymiktischen Mischungstyp bewirken kann. Innerhalb des saisonalen Verlaufs hat die Trübung während eines Zeitfensters im Frühjahr den stärksten Effekt, wenn die Wärmeaufnahme des Sees am größten ist. Zeitlich fällt dies in die

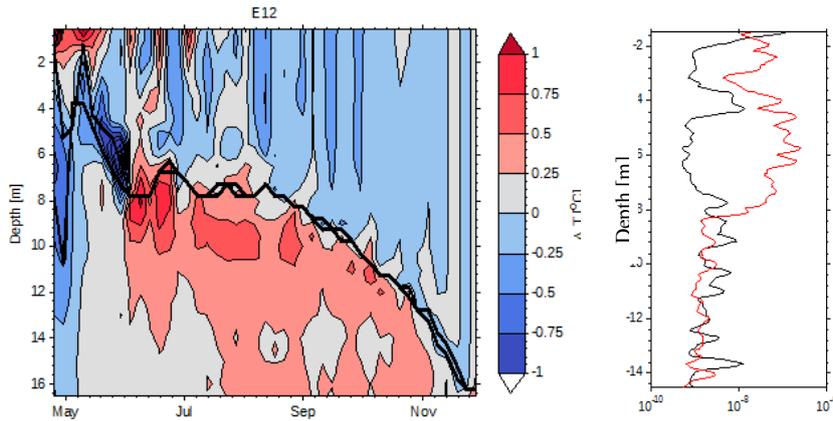


Abb. 4: (Links) Temperaturdifferenz zwischen Enclosure und See im Sommer (schwarze Linie ist die Untergrenze des Epilimnions, definiert als Tiefe mit maximalem Temperaturgradienten). (Rechts): Mischungsintensität (Dissipationsrate der turbulenten kinetischen Energie) im Enclosure (rot) und im angrenzenden See (schwarz) an einem sonnigen windstillen Tag.

eines Sees und dessen Mischungsregime zu beeinflussen. Somit können unter den Bedingungen eines sich erwärmenden Klimas biotische Interaktionen den Übergang zwischen poly-, di- und monomiktischen Mischungstypen beschleunigen. Ein methodologischer Fortschritt wurde erreicht, indem es gelang, unter den Bedingungen klimatischer Variabilität ein einheitliches formales Kriterium für die Bestimmung der Schichtungsdauer zu etablieren. Verschiedene Definitionen für den Beginn der thermischen Schichtung im Frühjahr und deren Ende durch die herbstliche Vollzirkulation wurden an gemessenen Temperaturzeitreihen aus zwei dimiktischen Seen (Stechlin und Arendsee) getestet. Während die Wahl unterschiedlicher Schwellenwerte einen Einfluss auf die Länge der Schichtungsdauer eines jeden einzelnen Jahres hat, ist diese Wahl für die Langzeittrends der Schichtungsdauer unerheblich. Einen weitaus stärkeren Einfluss auf die Resultate hat dagegen die zeitliche Dichte, mit der die Messdaten erhoben wurden. Somit konnte gezeigt werden, dass die Qualität der Datenerhebung (Messfrequenz) für die Genauigkeit der Bestimmung der Schichtungsdauer von größerem Wert ist, als die Festlegung auf eines der existierenden Kriterien. Parallel zu den Abschätzungen der Auswirkungen des Klimawandels auf die Physik natürlicher Seen wurde auch das hydrodynamische Regime von experimentellen Enclosure-Anlagen untersucht. Die hauptsächlichsten Transportmechanismen innerhalb der Enclosure wurden auf den verschiedensten Zeitskalen betrachtet: von den saisonalen Veränderungen bis zur Turbulenz (**Abb. 4**). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse haben eine unmittelbare Bedeutung für die biochemischen Prozesse in der Enclosure-Anlage. Im saisonalen Maßstab ist die thermische Schichtung innerhalb der abgeschlossenen Wasservolumina durch ein etwas kälteres Epilimnion ($\sim 0.1^\circ\text{C}$) und ein leicht wärmeres Hypolimnion ($\sim 0.2^\circ\text{C}$) als im diese umgebenden See gekennzeichnet. Dieser Effekt im Epilimnion entsteht durch die partielle Beschattung der eingeschlossenen Wassermenge; der im Hypolimnion durch deren Isolation vom kalten Tiefenwasser des Sees. Obwohl die Temperaturdifferenzen verhältnismäßig klein sind, führen sie doch zu nennenswerten Änderungen im vertikalen Mischungsregime: durch die Konvektion an den Enclosure-Wänden wird die vertikale Durchmischung im gesamten Epilimnion intensiviert. Eine Ausnahme bildet lediglich die unmittelbare Oberflächenschicht mit, im Vergleich zum See, verringerter Durchmischung, da im Enclosure die Scherung durch den Wind vernachlässigbar ist. Das Hypolimnion wird von der Wandkonvektion nur wenig beeinflusst, da es durch den starken Dichtesprung geschützt ist. Auf ökosystemaren Niveau lassen sich folgende bedeutende Konsequenzen aufzählen: (i) reduzierter Gasaustausch an der Grenzschicht zwischen See und Atmosphäre; (ii) beträchtliche Effekte der veränderten vertikalen Durchmischung auf das Phytoplankton und das Partikelsinkverhalten im gesamten Epilimnion (besonders während windstillen, sonniger Episoden) und (iii) höhere Transportraten durch die gesamte Wassersäule auf Grund der generell schwächeren Schichtung in den Enclosures.

Phase von Frühlingsblüte und Klarwasserstadium. Diese Modellsimulationen werden durch die Ergebnisse von Zeitreihenanalysen und prinzipieller Komponentenanalyse der Felddaten gestützt. Sie bestätigen, dass während der Klarwasserstadien eine Schwächung der Schichtung nachweisbar ist, die mit der Zooplanktonabundanz korreliert. Das Plankton ist also in der Lage, die thermische Struktur

Teilprojekt 2: Cyanobakterien, Primärproduktion, M. Gessner, IGB Stechlin

Im Vordergrund von Teilprojekt 2 stand die Untersuchung der Primärproduktion durch Phytoplankton als wichtigstem Ökosystemprozess in Seen. Es wurden zwei sich ergänzende methodische Ansätze gewählt. Erstens wurden Raten der Kohlenstofffixierung in Phytoplanktonbiomasse gemessen, indem mit Seewasser gefüllte Hell- und Dunkelflaschen mit radioaktiv markiertem Hydrogenkarbonat versetzt und 4 Stunden über Mittag in verschiedenen Tiefen des Sees inkubiert wurden. Anschließend wurde die in das Phytoplankton eingebaute Radioaktivität im Szintillationszähler gemessen. Dabei wurden durch Filtration zwei Größenklassen des Planktons unterschieden. Die Fraktion $<3 \mu\text{m}$ stellt das oft vernachlässigte kleine Picoplankton dar, die Fraktion $>3 \mu\text{m}$ umfasste vor allem Arten, die gut für Zooplankton freißbar sind. Große filamentöse Arten traten nicht auf. Gleichzeitig mit den Primärproduktionsmessungen wurde die Phytoplanktonbiomasse durch Bestimmung des Chlorophyllgehalts geschätzt. Dadurch wurde es möglich, auch spezifische Produktionsraten des Phytoplanktons zu berechnen.

Im zweiten Ansatz wurde der Gesamtkohlenstoffumsatz durch Messungen der tageszeitlichen Veränderungen der Sauerstoffkonzentrationen in verschiedenen Wassertiefen bestimmt. Der Ansatz beruht auf der Stöchiometrie zwischen CO_2 und O_2 bei der Photosynthese und Respiration von quasi 1:1. Er ermöglicht neben der Bestimmung der Bruttoprimärproduktion (Sauerstoffbildung während des Tages) auch die Ermittlung der Respiration (Sauerstoffzehrung während der Nacht) sowie die Nettoökosystemproduktion als Differenz der beiden Größen. Dieser Ansatz, die Primärproduktion und den Kohlenstoffumsatz in jedem der Versuchszylinder mit einem Volumen von jeweils rund 1250 m^3 gesamthaft zu erfassen, konnten im Rahmen des TemBi-Versuchs im Sommer 2014 verfolgt werden. Möglich wurde dies mit Hilfe von Profilern, die mit optischen Sauerstoffsensoren bestückt waren, um in 20 Tiefen der Versuchszylinder des Seelabors kontinuierlich Sauerstoffkonzentrationen zu messen.

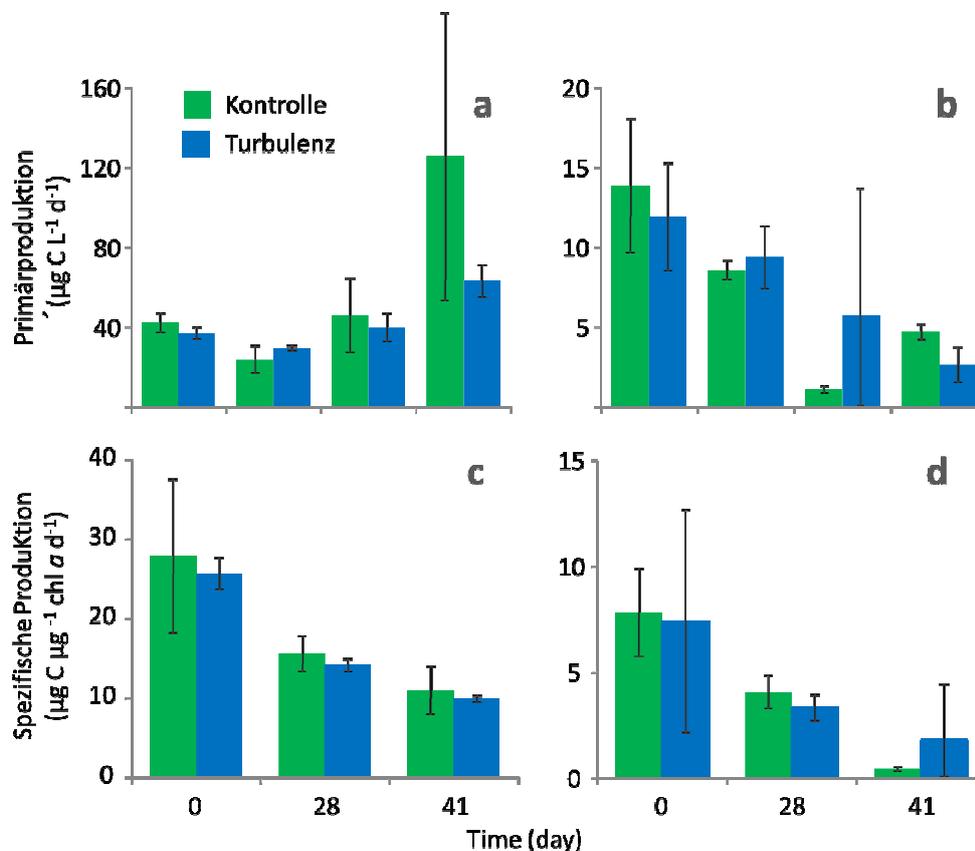


Abb. 5: Keine Hinweise auf veränderte Primärproduktion oder spezifische Produktionsraten im Oberflächen- (links) und Tiefenwasser (rechts) als Folge künstlich induzierter Turbulenz und Voldurchmischung der Wassersäule in den Versuchszylindern des Seelabors.

Experiment 1 (2012): Auswirkungen veränderter Turbulenz auf die Phytoplanktonproduktion
Hintergrund dieses Experiments war die Frage, inwieweit künstliche Turbulenz und Voll-
durchmischung, die als Maßnahme zur Verhinderung klimabedingter Cyanobakterienblüten
diskutiert wird, Prozesse und die Zusammensetzung der Planktonbiozönose beeinflusst. Der
Frage lag die Hypothese zugrunde, dass das Phytoplankton durch künstliche Durchmischung
in tiefe Wasserschichten verlagert wird, wo geringe Lichtintensitäten und erhöhte
Sedimentationsraten die Gesamtproduktivität vermindern. Darüber hinaus war die Erwartung,
dass die relative Bedeutung kleiner Phytoplanktonzellen bei hoher Turbulenz abnimmt. Keine
der beiden Hypothesen wurde durch die Ergebnisse unseres Experiments unterstützt. Trotz
der massiven vertikalen Mischung der Wassersäule veränderten sich die Produktionsraten
überraschenderweise weder im Oberflächen- noch im Tiefenwasser gegenüber den nicht
durchmischten Kontrollen (**Abb. 5a,b**). Dies gilt auch für die nach Phytoplanktongröße
aufgeschlüsselten Ergebnisse (Daten nicht dargestellt). Auch bei den spezifischen
Produktionsraten ließ sich kein Effekt nachweisen (**Abb. 5c,d**). Diese hohe Widerstandsfähigkeit
gegenüber einer massiven physikalischen Einwirkung lässt sich nur bedingt durch die teilweise
hohe, mit unterschiedlichen Fischdichten in verschiedenen Versuchszylindern korrelierte
Variabilität erklären (**Abb. 5**).

Experiment 3 (2014): Auswirkungen eines außergewöhnlichen Sturmereignisses auf die
planktische Primärproduktion und Respiration

Um die Auswirkungen extremer Sturmereignisse auf tiefe Klarwasserseen abzuschätzen,
wurde im Versuch des Jahres 2014 die Sprungschicht des stratifizierten Wasserkörpers in
den Versuchszylindern des Seelabors experimentell um 6 m abgesenkt. Im Gegensatz zur
Dauermischung der Wassersäule im Versuch 2012 wurde dadurch die Sprungschicht nur
kurzzeitig erodiert, wobei Nährstoffe und Algen des sich häufig im Metalimnion klarere Seen
bildenden Tiefenchlorophyllmaximums in das Oberflächenwasser eingetragen wurden. Sowohl
die Primärproduktion (**Abb. 6a**) als auch die Gesamtrespiration (**Abb. 6b**) nahmen
dadurch deutlich zu. Eine anfänglich besonders starke Zunahme der Respirationsrate, die
wahrscheinlich auf eine Ankurbelung des katabolen Stoffwechsels durch das Störungsereignis
zurückzuführen ist, wurde bei der Primärproduktion nicht beobachtet. Über die Dauer
eines gesamten Monats erhöhte jedoch das simulierte Sturmereignis die Primärproduktions-
raten deutlich stärker als die Respirationsraten (**Abb. 4**). Folglich führte das Sturmereignis
auch zu einer Zunahme der Nettoökosystemproduktion (Daten nicht dargestellt). Insgesamt
weisen diese Ergebnisse auf einen nachhaltigen Einfluss extremer Sturmereignisse auf
geschichtete Seen hin, wenn durch die vorübergehende Absenkung der Sprungschicht Nähr-
stoffe und Phytoplankton aus der Tiefe in das Oberflächenwasser verfrachtet werden.

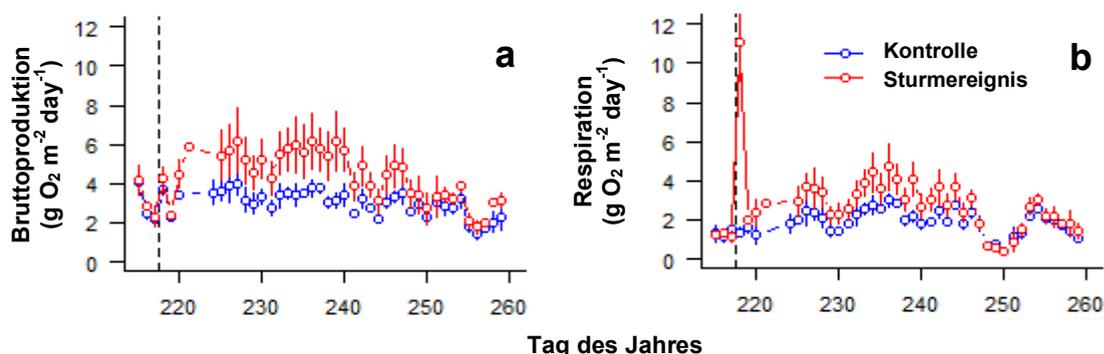


Abb. 6: Erhöhung der Gesamtprimärproduktion (a) und der Respiration (b) im Oberflächenwasser der Versuchszylinder des Seelabors infolge einer einmaligen Vertiefung der Sprungschicht durch ein experimentell simuliertes extremes Sturmereignis.

Teilprojekt 3: Pelagische Bakterien, H.-P. Grossart, IGB Stechlin

In 3 großskaligen Mesokosmosexperimenten im Stechlinsee untersuchten wir die Funktion und Gemeinschaftsstruktur pelagischer heterotropher Bakterien mittels Aktivitäts-, Abundanzmessungen und DNA-Analysen. Dabei wurde im Besonderen zwischen Partikelassoziierten Bakterien (PA, $>5,0 \mu\text{m}$) und freilebenden Bakterien (FL, $0,2 - 5,0 \mu\text{m}$) durch Größenklassenfractionierung unterschieden.

Experiment 1 (2012): Effekte von Turbulenz auf die mikrobielle Dynamik: Hier wurde die Deckschicht (das Epilimnion) von 3 Mesokosmen durchgängig durchmischt, um Turbulenzinduzierte Veränderungen auf die mikrobiellen Aktivitäten und Gemeinschaftsstrukturen der heterotrophen Bakterien zu verfolgen. Drei nicht gemischte Mesokosmen dienten als Kontrolle. Von April bis Mai wurden zweiwöchig, von Mai bis September monatlich Proben im Epi- und Hypolimnion größenfractioniert genommen (**Abb. 7**).

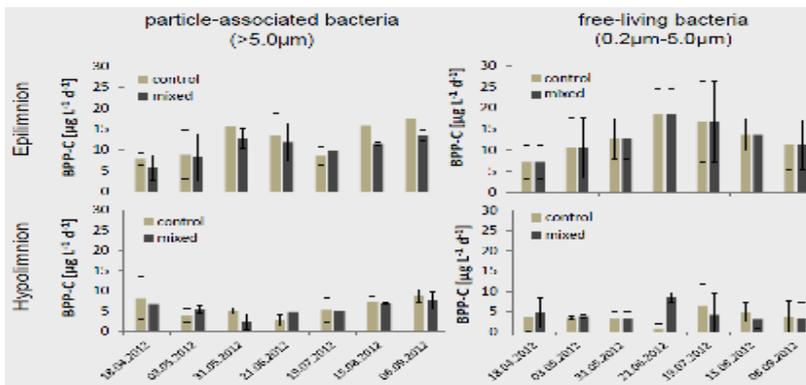
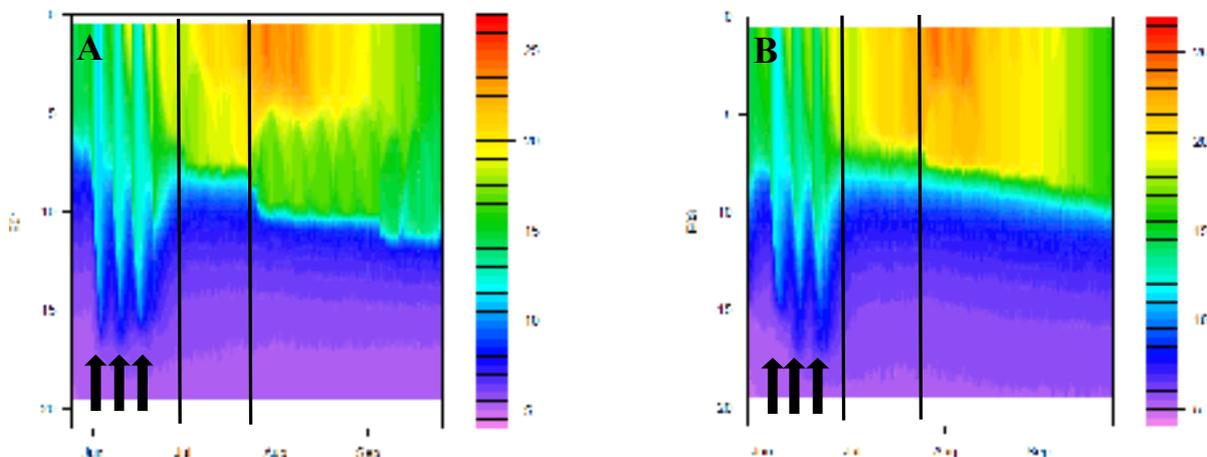


Abb. 7: Bakterielle Protein-Produktion (BPP) im Epi- und Hypolimnion (größenfractioniert) während des Experimentes im Jahr 2012 (Mittelwert \pm 1 SA, $n=3$).

Bisherige statistische Tests ergaben keinerlei signifikante Unterschiede (aufgrund der Behandlung) weder in der bakteriellen Produktion (**Abb. 7**), noch im C:N-Verhältnis, im Sinkstofffluss oder in den zell-spezifischen Produktionsraten.

Experiment 2 (2013): Effekte einer Epilimnion-Vertiefung auf die mikrobielle Dynamik
Ziel des Experimentes war es, Effekte auf den mikrobiellen Umsatz von Seen abzuschätzen, welche durch eine Absenkung der Thermokline, z.B. durch eine Veränderung der Lufttemperatur, verursacht werden. Leider reichte die bei den Tests eingebrachte Energie nicht aus, um die anfänglich beim Versuch herrschenden Schichtungsverhältnisse umfassend zu erodieren und das Epilimnion vollständig zu durchmischen (**Abb. 8**). Dadurch bildete sich ein vergrößertes Metalimnion heraus, wobei das obere Epilimnion weitgehend unbeeinflusst blieb. Multivariate Analysen (PCA, NMDS, siehe Teilprojekt 7, **Abb. 8**) ergaben signifikante Unterschiede in der Artzusammensetzung zwischen Kontrolle und Behandlung im August, erst nach der Nachjustierung des Ringsystems.



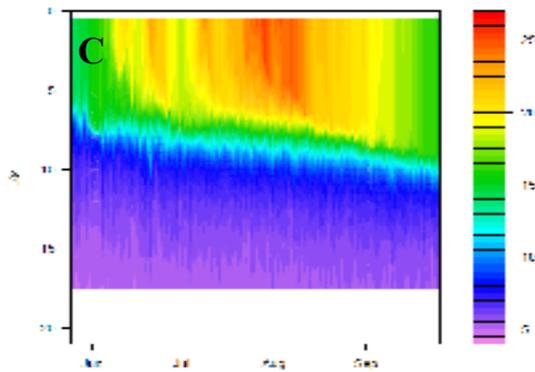


Abb. 8: Vertikale Temperaturprofile [°C] von A) einem Mesokosmos mit abgesenkter Thermokline (E01), B) einem Kontrollmesokosmos und C) dem Stechlinsee (L04) während des Versuchszeitraumes. Pfeile markieren Tests des Pumpensystems, schwarze Linien den Versuchsstart und die Nachjustierung des Pumpensystems.

Experiment 3 (2014): Effekte eines Sturmes auf die Mikroorganismen und den Sinkstofffluss
 Derzeitige Klimamodelle (z.B. PIK) sagen eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen in der Zukunft voraus. Anfang 2014 simulierten wir einen Sommersturm in 4 Versuchszylinder durch 4-stündiges Pumpen, wobei die Thermokline von 9 m auf 14 m abgesenkt wurde. Physikalisch-chemische Eigenschaften, Nährstoffkonzentrationen, Bakterien- und Phytoplankton-abundanzen, sowie die bakterielle Produktion und Gesamtrepiration wurden wöchentlich über 6 Wochen hinweg gemessen. Zusätzlich wurden Sedimentationsfallen nach der Durchmischung installiert und das Trockengewicht als auch die Nährstoffzusammensetzung des partikulären Materials bestimmt, um die Konsequenzen für den Sinkstofffluss und die Rolle von Seen als Kohlenstoffsenke quantifizieren zu können. Unsere vorläufigen Ergebnisse zeigen keine direkten Effekte der Durchmischung auf die mikrobielle Aktivität, deuten jedoch auf starke indirekte Effekte nach ca. 2 Wochen hin. Demnach reagierten die Mikroben stark auf die unterschiedliche Phytoplanktonentwicklung und Nährstoffverfügbarkeit in den durchmischten Mesokosmen, in den Kontrollen war dies nicht der Fall. Die Durchmischung verteilte die normalerweise im Metalimnion lokalisierten Cryptophyten und Cyanobakterien (*Dolichospermum* sp.) im gesamten Epilimnion, welche eine Phytoplanktonblüte beider Algengruppen in den durchmischten Mesokosmen initiierte und damit die epilimnische und metalimnische bakterielle Aktivität steigerte (**Abb. 8**). Trotz erhöhter epilimnischer Phytoplanktonproduktion in den durchmischten Mesokosmen sank der Sinkstofffluss (**Abb. 9**), wahrscheinlich durch eine höhere mikrobielle Remineralisation bedingt (**Abb. 9**). Tatsächlich zeigen die durchmischten Mesokosmen eine signifikant höhere Respirationsrate, was auf ein erhöhtes epilimnisches Recycling des organischen Materials schließen lässt. Folglich, scheinen Sommerstürme den Kohlendioxid austausch mit der Atmosphäre zu erhöhen und entscheidend die Kohlenstoffbindung im Sediment zu senken. Derzeitig werden die partikulären Nährstoffzusammensetzungen analysiert, um Aussagen über die Qualität des sedimentierten Materials treffen zu können.

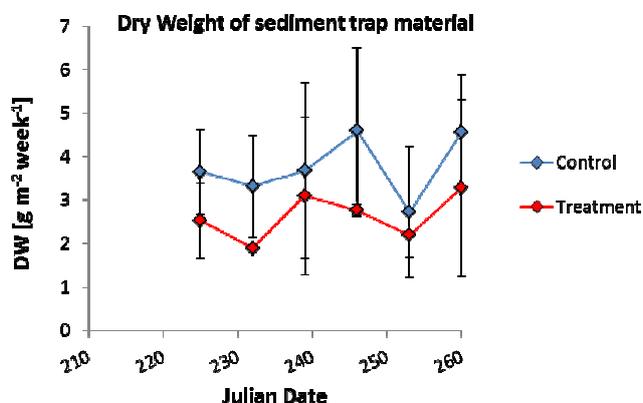


Abb. 9: Trockengewicht (DW) von sedimentiertem Material während des Experimentes. blau: Kontrollmesokosmen (Mittelwert \pm 1 SA, n=4), rot: durchmischte Mesokosmen (Mittelwert \pm 1 SA, n=3)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass heterotrophe Bakterien stark auf die Durchmischung reagierten, welche vergleichbar zu dem Sommersturm Otto im Stechlinsee im Jahr 2011 war. Des Weiteren werden zurzeit die Zusammenhänge von Bakterien im Nahrungsnetz, die Interaktionen mit anderen Organismengruppen und deren Rolle für den Kohlenstoffhaushalt und Sinkstofffluss näher analysiert.

Teilprojekt 4: Mikroorganismen im Sediment, P. Casper, A. Fuchs; IGB Stechlin

Um zu rekonstruieren, welche Veränderungen sich im Stechlinsee in den vergangenen ca. 200 Jahren ereigneten und wie sich diese auf die Biodiversität der Mikrobiota auswirkten, wurden im Jahre 2012 Sedimentkerne schichttreu entnommen und analysiert. Die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft in verschiedenen Sedimenttiefen wurde untersucht und mit einer Vielzahl an Umweltparametern in Relation gesetzt. Eine Datierung mit ^{137}Cs ermöglichte eine zeitliche Zuordnung der verschiedenen Schichten und zeigte, dass Schwermetalle, die durch den Bau (ca. 1955-1966) und Betrieb des Kernkraftwerks Rheinsberg (1966 bis 1990) eingetragen wurden, in den Tiefen 5-10 cm stark präsent sind. Es wurde festgestellt, dass eukaryotische DNA nur bis in eine Tiefe von 10 cm auffindbar war, während die Abundanz von Archaeen mit der Tiefe zunimmt und in 20-30 cm die Hälfte der mikrobiellen Sequenzen präsentiert (s. auch TP 7). Nestedness-Analysen legen nahe, dass die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft in den verschiedenen Sedimentschichten nicht durch temporale Einlagerung bestimmt wird, stattdessen bestimmt die Verfügbarkeit an organischem Material die Zusammensetzung der Gemeinschaft.

Um den Sinkstofffluss, also der Sedimentation aus der Wassersäule zum Sediment, zu messen, nutzten wir Sedimentationsfallen, die ca. 1 m über dem Sediment aufgehängt wurden. Von 2011-2013 wurde die Sedimentationsrate im Stechlinsee gemessen und mit der Planktonbiomasse im Epimimnion korreliert (**Abb. 10**). Es konnte gezeigt werden, dass die Sedimentationsrate von spezifischen Planktongruppen, besonders Kieselalgen, bestimmt wird, und von zusätzlichen Faktoren wie Windstärke oder Ausmaß der Kalzitfällung begünstigt wird.

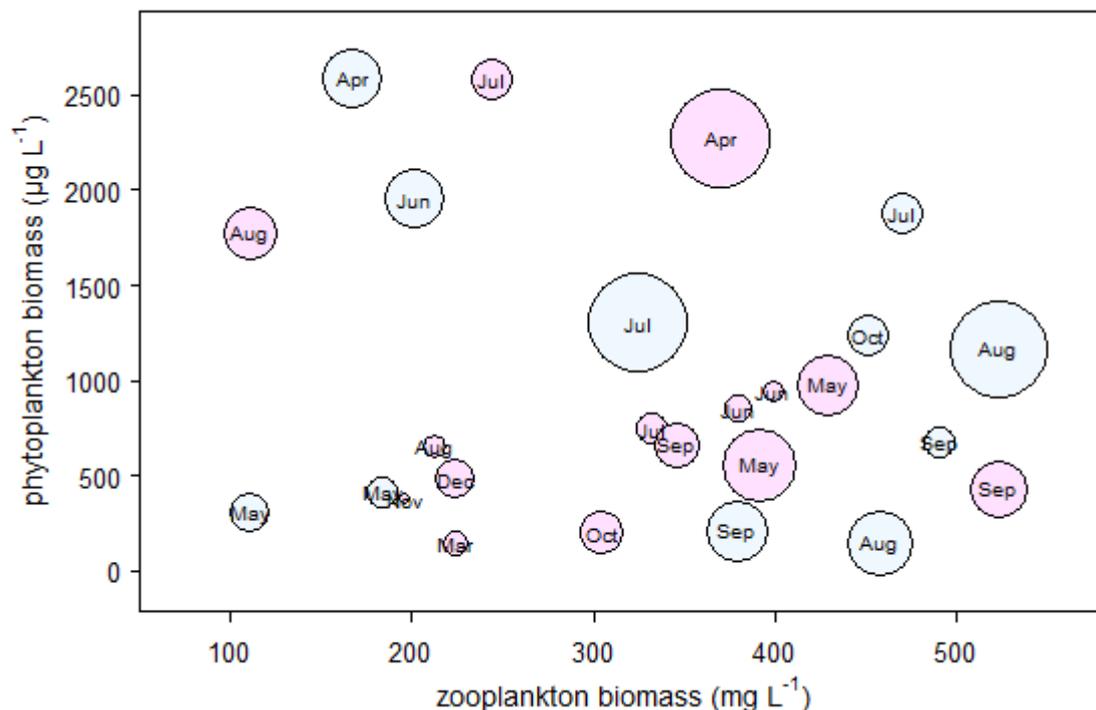


Abb. 10: Sedimentationsraten im Stechlinsee an der Tiefen Stelle in 2011 (rosa) und in der Südbucht in 2012 (hellblau) in Korrelation mit der Biomasse an Phytoplankton und Zooplankton in der Wassersäule. Die Größe der Kreise ist relativ zur Sedimentationsrate.

Beim Experiment zur Thermoklinenverschiebung im Jahr 2013 schien die Sedimentationsrate zu Beginn in den manipulierten Enclosures höher zu sein, was aber in der hohen Variabilität zwischen den Enclosures begründet sein kann. Beim Sturm-Simulationsexperiment 2014 zeigten sich höhere Sedimentationsraten sowie eine höhere Menge an Kalzit in den Kontroll-Enclosures. Dies hängt sehr wahrscheinlich mit dem veränderten Carbonat-Sättigungsindex zusammen, der durch die Einmischung von CO_2 aus den tieferen Schichten der manipulierten

ten Enclosures und der Aktivität der aus der Tiefe in das Epilimnion transferierten Primärproduzenten verändert wurde.

Wir untersuchten 2013, ob sich die Absenkung der Thermokline auf die Bildung und Emission von Methan und Kohlendioxid auswirkte. Unsere Messungen zeigten, dass die Variabilität der Konzentrationen der beiden untersuchten Treibhausgase im Sediment der Mesokosmen innerhalb der behandelten und unbehandelten Gruppe so hoch ist, dass ein Effekt der Thermoklinenverschiebung nicht erfasst werden konnte. Die Emission von Methan aus den Enclosures über die Wasser-Atmosphäre Grenzschicht war unterhalb des Detektionslimits. Zusätzlich wurde die Abundanz der Gene *mcrA* (Methanproduktion) und *pmoA* (aerobe Methanoxidation) mittels qPCR gemessen, jedoch konnten auch hier keine Auswirkungen der Thermoklinenverschiebung festgestellt werden. Die Simulation in der Seelaboranlage zur Thermoklinenvertiefung führte offensichtlich noch nicht zur Veränderung der terminalen Mineralisationsprozesse.

In einem Inkubationsexperiment mit Sedimenten aus dem Stechlinsee wurde der Effekt erhöhter Temperatur auf den Methanmetabolismus untersucht (**Abb. 11**). Unsere Messungen zeigten, dass sich bei höherer Temperatur die Methankonzentration in allen Tiefenschichten verringert, obwohl die Methanbildungsrate mit der Temperatur anstieg. Daraus schlussfolgern wir, dass anaerobe Methanoxidationsprozesse noch stärker von höheren Temperaturen profitieren als die Methanproduktion. Die Abundanz der funktionellen Gene *mcrA* und *pmoA* zeigte keine Reaktion auf die veränderten Temperaturbedingungen, dies lässt allerdings keine Schlussfolgerung über die Aktivität zu.

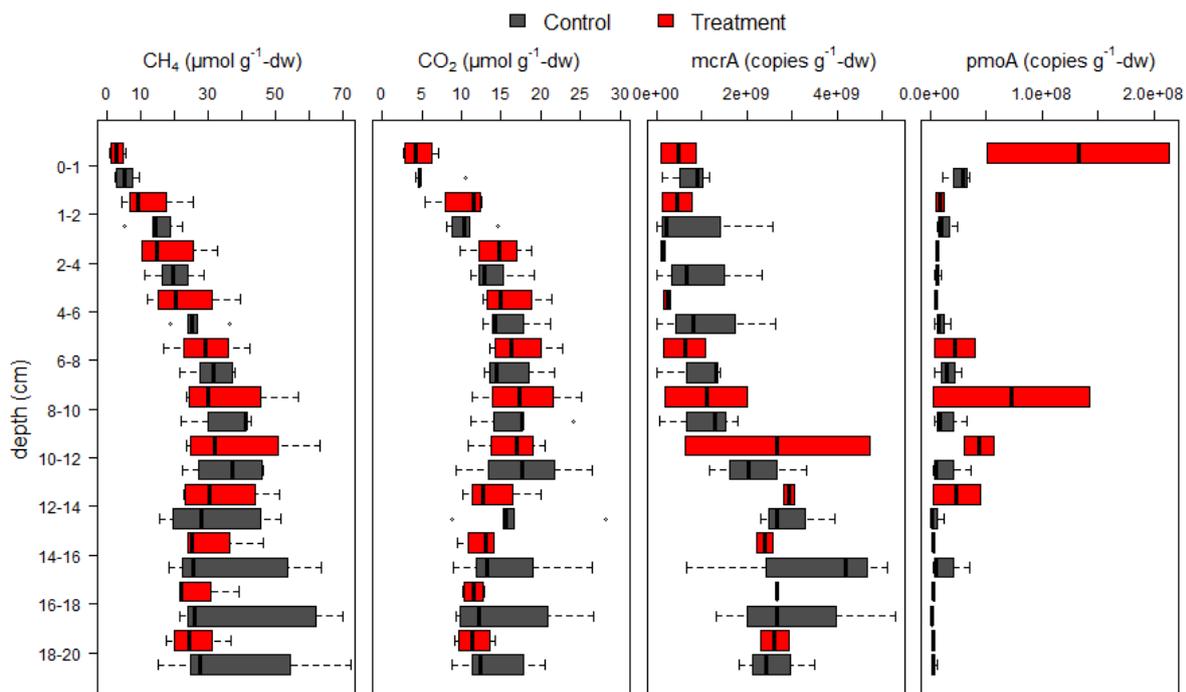


Abb. 11: Konzentrationen an Methan und Kohlendioxid sowie Abundanz der funktionellen Gene *mcrA* und *pmoA* in den einzelnen Sedimentschichten am Ende des Enclosures-Experiments 2013.

Teilprojekt 5: Phytoplankton, L. Krienitz, G. Selmečzy, IGB Stechlin, J. Padisak, Universität Pannonien, Ungarn

Die seit 1994 bis auf Artniveau hoch aufgelösten Erfassungen von Abundanz und Biomasse des Phytoplanktons im Stechlin konnten im Rahmen des TEMBI-Projektes vertieft werden. Die Hypothese, dass Veränderungen der Struktur der Primärproduzenten im See stark durch den Klimawandel beeinflusst werden, wurde bestätigt. Besonders die Gruppe der Cyanobakterien zeigte im Untersuchungszeitraum drastische Veränderungen in Populationsstruktur und Biomasse. In den letzten beiden Jahrzehnten sind mehr als 10 Arten im Stechlin neu nachgewiesen worden (**Abb. 12**). Während *Planktothrix rubescens* und *Dolichospermum (Anabaena) lemmermannii* schon seit Jahrzehnten im See existierten, sind weitere Arten erst vor wenigen Jahren hinzugekommen.

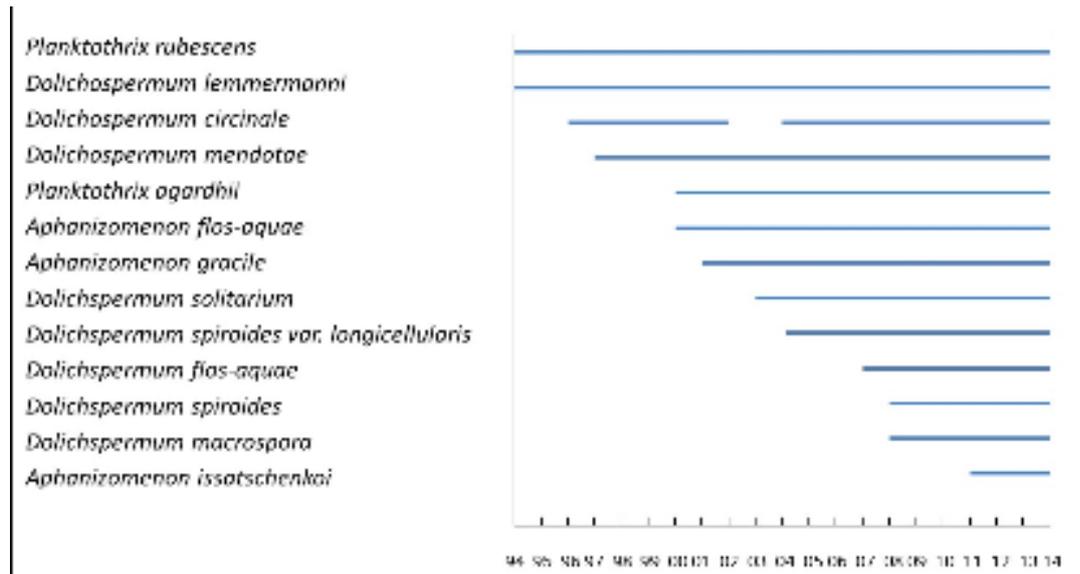


Abb. 12: Dominierende Arten fadenbildender Cyanobakterien im Stechlin im Zeitraum 1994-2014.

Im Rahmen des Projektes wurden Cyanotoxine (Microcystine) und ihre Gene im Stechlin nachgewiesen (Dadheech et al. 2014). Interessanterweise produzierten nicht die Cyanobakterienarten mit der höchsten Biomasse (*Dolichospermum*, *Aphanizomenon*) die Gifte, sondern jene, die lediglich subdominant im See vorkamen (*Microcystis*, *Planktothrix*).

Die Cyanobakterien des Stechlins entwickelten interessante Muster ihrer horizontalen Verbreitung im Wasserkörper und prägten in der Phase der klimabedingt verlängerten Sommerstagnation Tiefenchlorophyllmaxima (DCM) aus. Im Jahre 2013 wurde ein seltener Fall eines „multi-species“ DCM beobachtet, zu dem neben den herkömmlichen DCM-Bildnern *Planktothrix* und *Cyanobium* auch noch die eingewanderte nostocale Art *Aphanizomenon flos-aquae* beitrug. In verschiedenen Tiefen des Sees konnten die einzelnen Arten ihre optimalen Licht- und Nährstoffansprüche decken.

Weitere Untersuchungen trugen zu neuen Erkenntnissen der Verbreitung und Ökologie verschiedener anderer Algen-Taxa (vor allem picoplanktische Pro- und Eukaryoten, Flagellaten [z.B. *Cryptomonas*, *Phacotus*], Kieselalgen, Grünalgen) bei. Am Beispiel der Diatomeenflora wurde nachgewiesen, dass sich der See in einer Phase des Umbruchs befindet, der auf die Gefährdung des oligotrophen Nährstoffstatus hindeutet. An 23 Probenahmestellen im Uferbereich des Sees wurden Aufwuchsdiatomeen untersucht. Dabei wurde eine hohe Ähnlichkeit der Besiedlung dokumentiert. Die meisten der nachgewiesenen Arten sind für eutrophe Verhältnisse charakteristisch. Zum Beispiel traten besonders häufig auf: *Gomphonema olivaceum* und *Karayevia clevei*. Einige Arten wurden gefunden, die in der Roten Liste als gefährdet (z.B. *Aneumastus stroesei*, *Planothidium joursacense*), extrem selten (z.B. *Cocconeis neodiminuta*, *Navicula hofmanniae*) oder im Rückgang befindlich (z.B. *Cymbella falsa diluviana*, *Encyonema lacustre*) eingeordnet werden.

Die Experimente in den Experimentalzylindern des Seelabors erbrachten umfangreiche Messreihen zur Algenbesiedlung. Die Fülle an Daten befindet sich noch in der Auswertungsphase. Im Extremereignis-Experiment 2014 wurde, z.B. die Sukzession, der sehr flexibel auf Umweltveränderungen reagierenden Cryptomonaden (Schlundgeißler) dokumentiert. Diese „opportunistische“ Algengruppe reagiert als erste auf die experimentellen Veränderungen durch massives Wachstum (**Abb. 13**).

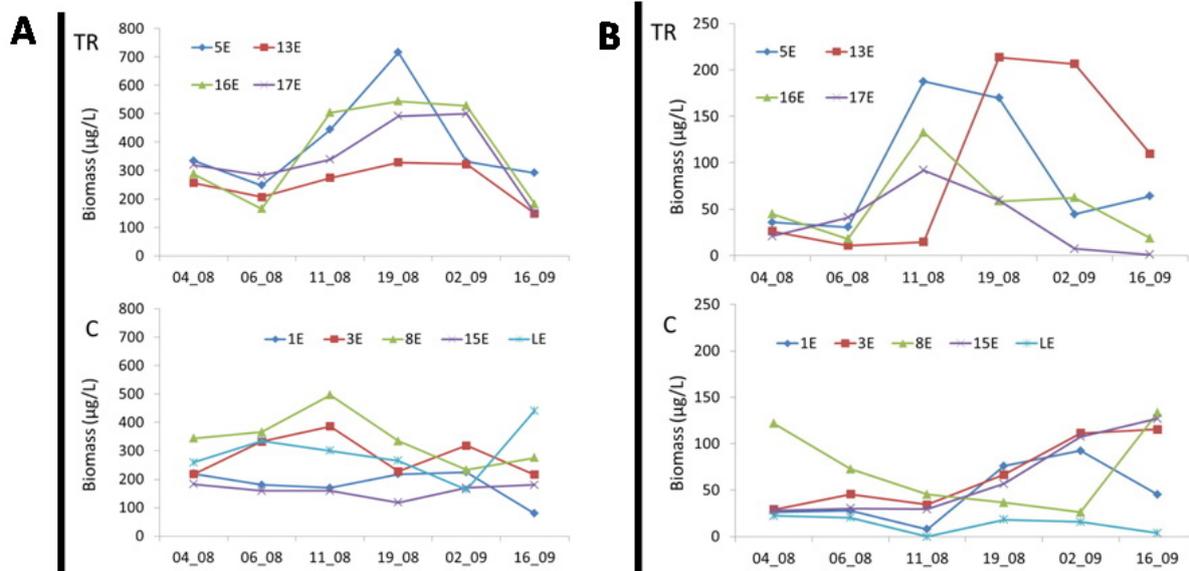


Abb. 13. Biomasse des Phytoplanktons in vier Experimentalzylindern im Extremereignis-Experiment 2014: **A** – Gesamtbiomasse, **B** – Biomasse der Cryptomonaden. Obere Reihe: Simulation Extremereignis, untere Reihe: Kontrolle.

Teilprojekt 6a: Pelagisches Zooplankton, P. Kasprzak, J. Sareyka; IGB Stechlin

Die Klimaveränderungen werden sich auch in höheren Temperaturen und niedrigeren Sauerstoffgehalten des Tiefenwassers unserer Seen bemerkbar machen. Dadurch können Zooplankton-Arten, die kaltes und sauerstoffreiches Wasser benötigen, in ihrer Existenz gefährdet werden. In diesem TP wurde dies anhand des Copepoden *Eurytemora lacustris* untersucht.

Die planktische Copepodenspezies *E. lacustris* gehört zur Gruppe der Eiszeitrelikte. Die dazu zählenden Tierarten gelangten während der letzten Inlandvergletscherung vor etwa 12.000 Jahren in die Seen des Einzugsgebietes der späteren Ostsee. Es handelt sich u. a. um verschiedene Arten von Krebstieren (Crustaceen) mit ähnlichen Ansprüchen an ihre Umwelt: relativ kaltes und sauerstoffreiches Wasser. *E. lacustris* ist in Seen des Einzugsgebietes der Ostsee weit verbreitet, bewohnt jedoch nur relativ wenige Gewässer, welche die genannten Habitatanprüche aufweisen. Im Rahmen des TP 6a sollten die Biologie und Ökologie der Art mit Blick auf die globale Klimaerwärmung näher untersucht werden. Dazu wurden auf Grundlage des bekannten Wissens vier Hypothesen entwickelt:

1. Die in verschiedenen Teilgebieten vorkommenden Subpopulationen von *E. lacustris* unterscheiden sich aufgrund der verschiedenen ökologischen Bedingungen genetisch und morphologisch voneinander.

2. Um zu überleben, benötigt *E. lacustris* in den Sommermonaten ein kaltes und sauerstoffreiches Hypolimnion als Rückzugsgebiet.
3. Zwischen den Subpopulationen von *E. lacustris* aus verschiedenen Klimazonen (Klimaklassifikation nach Köppen Geiger: Cfb,Dfb,Dfc) bestehen Unterschiede in der Wachstumsrate.
4. Die Populationsdynamik von *E. lacustris* ist abhängig von dem Trophiegrad des Sees.

Um diese Hypothesen zu testen, wurde folgender Arbeitsplan aufgestellt:

H 1: Es wurden Proben aus 44 Seen des gesamten Verbreitungsgebietes gesammelt (Deutschland, Polen, Baltische Republiken, Finnland, Schweden, Norwegen) von denen nur 22 Seen Populationen der Art aufwiesen. Je 10 Individuen wurden für die genetische und morphologische Analyse zufällig ausgewählt. Für die genetischen Untersuchungen mussten geeignete DNA-Extraktionsmethoden, PCR-Primer und Protokolle etabliert werden. Die morphologischen Studien konnten problemlos sofort durchgeführt werden.

H 2: Da die Art nicht in Laborkultur gehalten werden konnte, wurden *in-situ* Expositionsversuche und physiologische Tests an der Atmungskettenaktivität der Art durchgeführt. Weiter wurden die im Seelabor simulierten Klimaszenarien zur Untersuchung der Auswirkungen auf die pelagischen Zooplanktongemeinschaften genutzt. Hierbei zeigte sich in den Jahren 2012/2013, dass die Versuchszylinder keine ausreichenden Lebensbedingungen für *E. lacustris* aufwiesen. Die Daten von 2014 befinden sich noch in der Auswertung aber auch hier zeigte sich im Verlauf des Experimentes eine stetig sinkende Individuenzahl in den manipulierten sowie in den Kontrollzylindern.

H 3: Diese Studien konnten nicht durchgeführt werden, weil sich *E. lacustris* als nicht kultivierbar erwies.

H 4: Die Beantwortung dieser Frage gründet im Wesentlichen auf Freilandbeobachtungen. Die entsprechenden Daten liegen vor und befinden sich gegenwärtig in Auswertung.

Anhand der genetischen Untersuchung ließen sich keine differenzierten Subpopulationen erkennen $F_{ST}=0.091$ ($SA=0.100$) und $\Phi_{ST}= 0.299$ ($SA=0.146$). Isolation durch Entfernung war zwischen den Populationen sehr schwach ausgebildet und nicht signifikant ($F_{ST} p=0.2$, $\Phi_{ST} p=0.073$). Eine populationsgenetische Auswertung der Daten mittels Haplotypennetzwerk (**Abb. 14**) zeigte keine genetisch getrennte Linie zwischen den Subpopulationen. Dies ließ darauf schließen, dass *E. lacustris* eine evolutionsgeschichtlich noch sehr junge Art ist, und es noch zu keiner großen genetischen Differenzierung des untersuchten Gebiets gekommen ist. Anhand der Populationsstruktur des Haplotypennetzwerks ist zu erkennen, dass die geographische Verbreitungsgeschichte von Finnland über Schweden und über die Baltischen Staaten bis nach Deutschland stattgefunden haben muss (**Abb. 14a,b**).

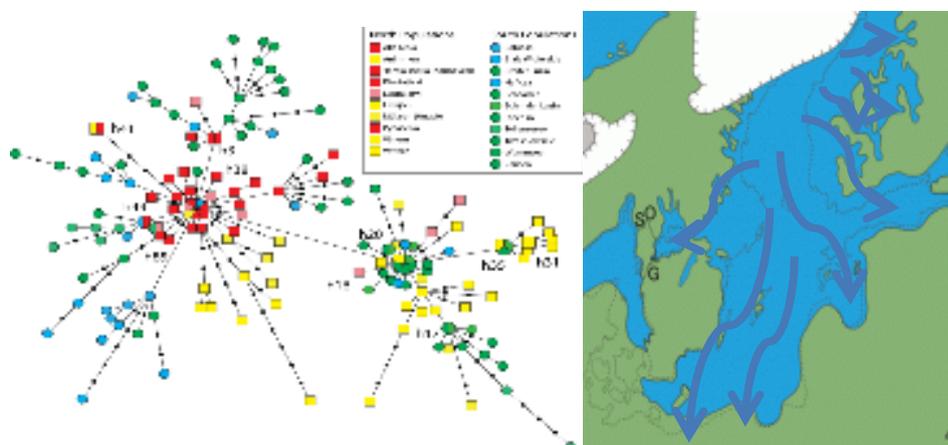


Abb. 14: Haplotypennetzwerk (a = links) und rekonstruierter Verbreitungsweg (b = rechts)

Die morphologische Untersuchung zeigte, dass die südbaltische Subpopulation (Deutschland, Polen, Litauen) morphometrisch einen etwas kleineren Morphotypen im Vergleich zu den Subpopulationen in Schweden und Finnland aufwies (**Abb. 15**).

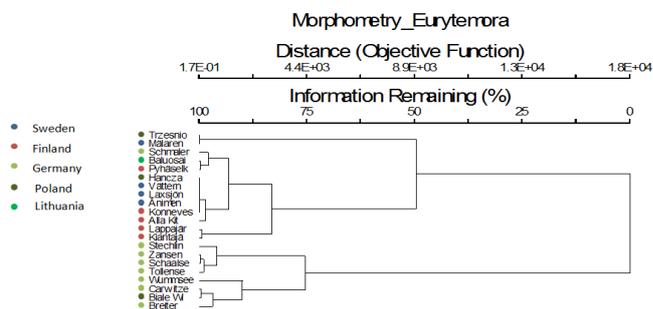


Abb. 15: Dendrogramm der morphometrischen Analyse

Die Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen des Elektronentransportsystems (ETS) ergaben, dass die Enzyme der Art an kalte Temperaturen angepasst sind. Die Enzymaktivität erreichte ab Temperaturen von 15°C letale Werte, was auch durch Expositionsversuche der Tiere bei verschiedenen Temperaturen zwischen 5-20°C nachgewiesen werden konnte. Daraus lässt sich schließen, dass *E. lacustris* bei Verlust geeigneten Lebensraumes, des kalten und sauerstoffreichen Hypolimnions, nicht überleben kann. Für diese Zooplankton-Art kann der Klimawandel zum Aussterben führen.

Teilprojekt 6b: Protozoen, K. Jürgens, J. Klier, Inst. für Ostseeforschung Warnemünde

Während des Durchmischungsexperimentes im Jahr 2012 wurden Proben der Wassersäule direkt vor und nach der Durchmischung untersucht. Direkt nach der Durchmischung zeigte sich eine geringe Abundanz der zu untersuchenden Protozoen, jedoch ein starker Partikeleintrag. Im zeitlichen Verlauf scheint die Abundanz zuzunehmen. Genauere Analysen stehen jedoch noch aus. Ein Vergleich mit partikelassoziierten Organismen würde sich hier anbieten.

In Kombination mit TP4 wurde die biogeochemische Zusammensetzung des Sedimentes untersucht, um potentielle biogeochemische Prozesse, ausgelöst durch die Manipulation, besser detektieren zu können. Ein besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Porenwasserchemie gelegt. Es wurde neben dem überstehendem Hypolimnionwasser aus elf Sedimentschichten Porenwasser extrahiert (**Abb. 16a**). Die Extraktion erfolgte mittels Rhizonen, um einen möglichen Sauerstoffeintrag so gering wie möglich zu halten (**Abb 16b**). Die Analyse des gewonnenen Porenwassers erfolgte sowohl photometrisch (Bestimmung H₂S), mittels Bioanalyser (Phosphat, Nitrat, Nitrit, Silikat und Ammonium), als auch mittels ICP-OES (Analyse der Metalle, z.B. Mangan).

Anhand der Analyse der gewonnenen Daten konnte kein Einfluss der Manipulation gezeigt werden. Jedoch konnte innerhalb einiger Mesokosmen eine Veränderung über die Zeit festgestellt werden (Beispiel in **Abb. 16c**). Generell nahmen die Konzentrationen von Phosphat, Ammonium und Silikat mit der Sedimenttiefe zu, während die Nitrat- und Nitritkonzentration nach 2cm Sedimenttiefe unter das Detektionslimit absanken. Ausnahmen dieses Trends bildeten die Versuchszylinder 13 und 16. Mesokosmos 13 wies im Juni in der Tiefe von 18-20 cm einen Nitratpeak auf (~8 µmol/L), mit einer gleichzeitigen Abnahme von Ammonium auf ~55 µmol/L (vgl. 16-18cm: ~330µmol/L) und einer Abnahme von Silikat auf ~46 µmol/L (vgl.16-18cm:~470µmol/L). Mesokosmos 16 wies im August einen Nitrat- und Nitritpeak in der Tiefe von 2-4 cm auf. Nitrat stieg hierbei von ~2,5 auf 20 µmol/L und Nitrit von ~0,04 auf 25 µmol/L. Gleichzeitig mit diesem Peak sanken die Konzentrationen von Phosphat, Ammonium und Silikat unter die Detektionsgrenze.

Die Oberflächenproben (0-2 cm) und biochemisch relevante Tiefen (z.B. Mesokosmos 13, Tiefe 18-20 cm und Mesokosmos 16, Tiefe 2-4 cm) werden für weiterführende Biodiversitätsanalysen verwendet werden.

Um den Einfluss des im Jahr 2014 simulierten Sturmereignisses auf die Mikroorganismen der Wassersäule zu untersuchen, wurden sowohl Proben für die Durchflusszytometrie und zur Abundanzbestimmung der heterotrophen Nanoflagellaten (HNF), als auch zur Ermittlung des Fraßdrucks der Protisten auf Bakterien genommen. Für die letztere Analyse wurden FLBs verwendet (Fluorescence Labelled Bacteria).

Die mittels Durchflusszytometrie ermittelte Phytoplanktonabundanz wies eine Abnahme mit der Tiefe (Epilimnion → Metalimnion → Hypolimnion) auf. Im zeitlichen Verlauf wies die Kontrollprobe des Sees jeweils die größte Phytoplankton Abundanz auf. In allen Mesokosmen hatten die Cyanobakterien-Cluster R2/R3 konstant die höchste Abundanz mit einem Maximum von 0,3 Mill Zellen/ml (Cluster R3). Ausschließlich zu Beginn des Experiments konnte im Epilimnion der Mesokosmen 13,15, 17 und in der Kontrollprobe des Sees das Cluster R7 nachgewiesen werden, welches jedoch nach 2 Tagen nicht mehr detektierbar war. Die maximale Abundanz wies hierbei die Kontrollprobe des Sees mit 0,13 Zellen/ml auf. Die Bakteriencluster R2-HNA und R3-LNA wiesen die höchste Abundanz über den kompletten Zeitraum auf; mit einem Maximum von 1,64 Mill für R2-HNA und 3,36 Mio. Zellen/ml. Die bakterielle Abundanz blieb weitestgehend konstant mit einer leichten Abnahme im Hypolimnion. Auf Basis der bisherigen Ergebnisse konnte kein Einfluss der Manipulation festgestellt werden. Die Proben zur Analyse der FLBs und zur Abundanzbestimmung der HNF befinden sich noch in Bearbeitung.

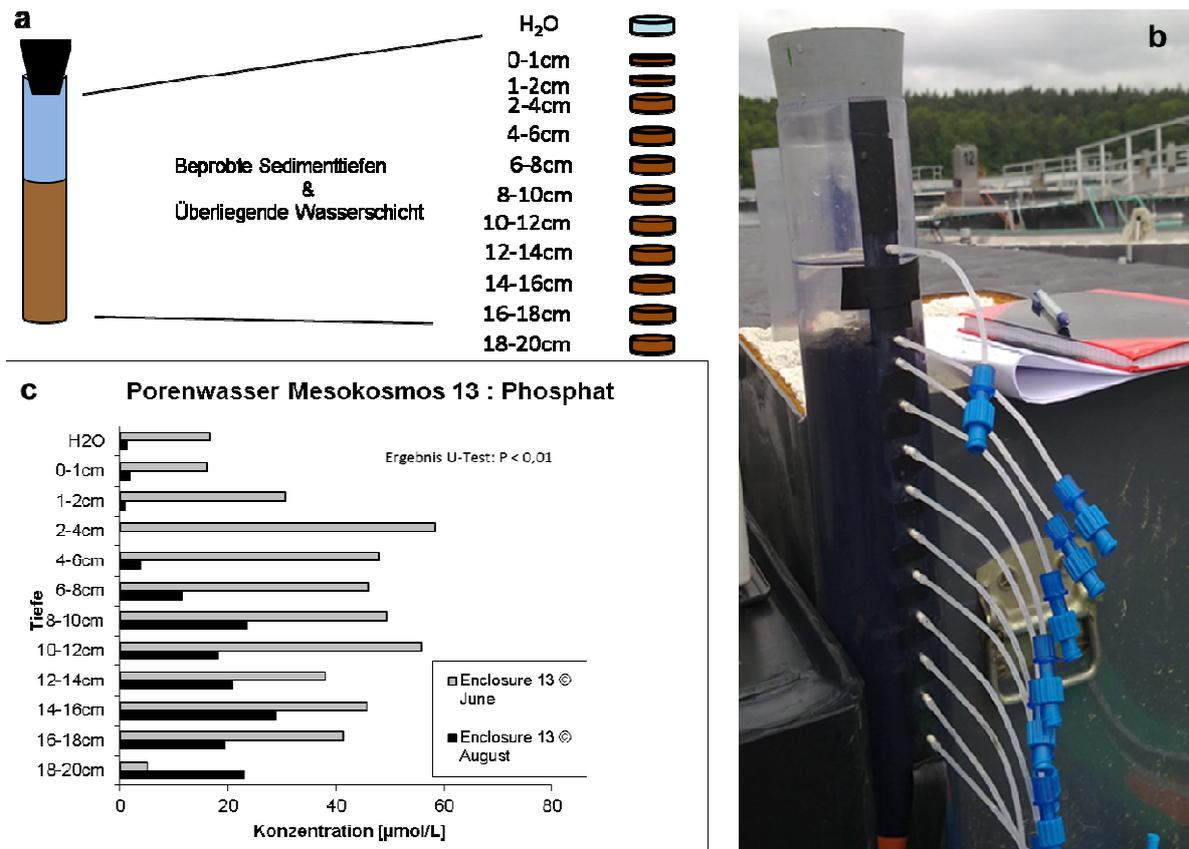


Abb. 16: Sedimentprobenahme und exemplarische Grafik Porenwasser Analyse: **a)** Beprobte Sedimenttiefen in Experiment 3; **b)** Entnahme des Porenwassers mittels Rhizonen; **c)** Exemplarische Grafik der Porenwasser Auswertung (hier Phosphat in Mesokosmos 13).

Teilprojekt 7: Metagenomanalyse, M. Monaghan; C. Wurzbacher, IGB Berlin

Im Jahr 2012 wurden 60 Sediment Proben (vier vertikale Kernprofile als Replikate in bis zu 30 cm Sedimenttiefe) aus dem Stechlinsee entnommen. Für alle Proben wurde ein Metabarcoding mit einem universellen Marker und 454 Pyrosequenzierung durchgeführt, die es ermöglichte, nahezu alle lebenden Organismen zu detektieren. Zudem wurden weitere Charakterisierungen des Sediments in Zusammenarbeit mit den TPs 3+4 vorgenommen.

Die Analyse der Sedimentproben ergab insgesamt 396k kurtierte DNS-Sequenzen. Repräsentative Sequenzen wurden mit einem Schwellenwert von 97% Sequenzhomologie als "operational taxonomic units" (OTU) definiert. Diese OTUs wurden als Vegetationstabelle und als DNS-Sequenzen ausgelesen. Insgesamt wurden 29'228 OTUs gefunden, mit deren Hilfe wir die Struktur des Stechlinseesedimentes erstmalig umfassend beschreiben konnten. Wir fanden einen hohen Artenumsatz zwischen den jeweiligen Sedimenthorizonten und nur einen kleinen Anteil (8%) an „nestedness“ (=hierarchisch geschachtelte Gemeinschaftsstruktur). Daraus schlussfolgern wir, dass die Mikrobengemeinschaft im Sediment ein hoch autonomes und indigenes System ist, das kaum von Ereignissen aus der vergangenen Seengegeschichte beeinflusst wird. Wir konnten beobachten, wie sich die Mehrheit der gefundenen Mikroben charakteristisch im Tiefenprofil schichten. Eindrucksvoll ist dies in der Tiefenverteilung der Archaea, eine Prokaryotengruppe, die typischerweise nur in extremen Habitaten vorkommt, in Binnenseen aber die Methanbildung realisiert, zu sehen ist (**Abb. 17**).

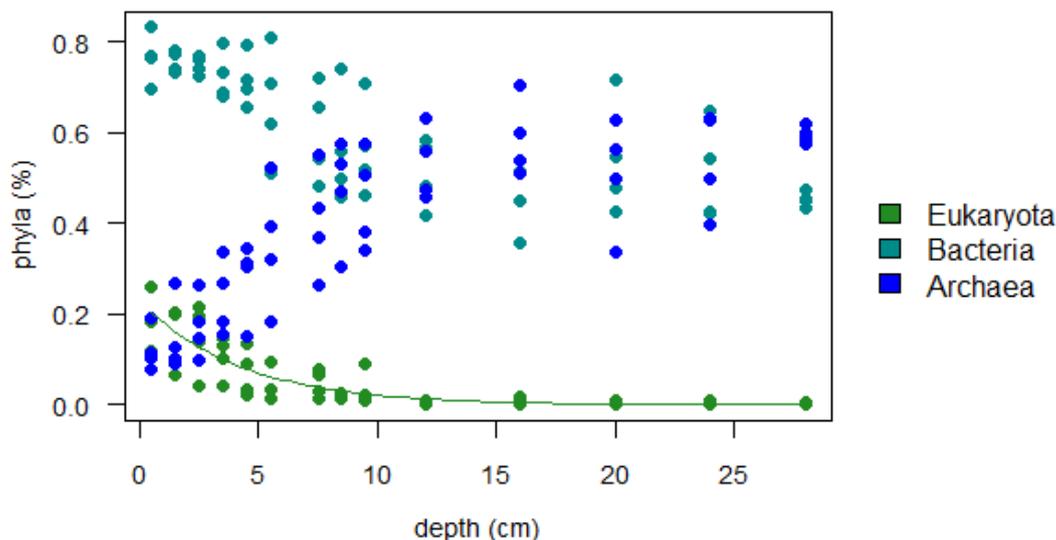


Abb. 17: Tiefenabhängige Verschiebung der Verhältnisse zwischen den mikrobiellen Großorganismengruppen Eukaryonten, Bakterien und Archaea im Stechlinseesediment. Die exponentielle Abnahme des Eukaryontenanteils ist hochgradig korreliert mit dem exponentiellen Abfall der DNS Konzentration im Sediment ($r = 0.87$, $p < 0.001$).

Für das Seelaborexperiment 2013, der Thermoklinenverschiebung, wurden 85 Wasserproben à 10 Liter genommen. Von diesen wurde die DNS aufkonzentriert, extrahiert und mit einem Illumina MiSeq sequenziert. Es wurde wiederum der universelle Metabarcoding Ansatz durchgeführt, was eine Änderung und Neuentwicklung der Laborprotokolle implementierte, die eine höhere Kosteneffizienz garantierte. Nach der Qualitätskontrolle blieben uns 8'190k Sequenzen (34 % der Rohdaten). Die SILVA Software prozessierte 5k Sequenzen pro Probe was in 1'148 taxonomische Gruppen resultierte (maximale Auflösung: Genus-Ebene). Durchschnittlich waren 34.1% aller Sequenzen nicht näher mit bekannten Datenbankeinträgen verwandt. In weiterführenden Analysen stellte sich heraus, dass es sich dabei um Süßwasserruderfusskrebse handelte, welche nicht ausreichend in der SILVA Datenbank repräsentiert waren. Die Thermoklinenverschiebung führte mit fortschreitender Experiment-

5. Wirtschaftliche Verfügbarkeit

Es wurden keine direkt wirtschaftlich verwertbaren Ergebnisse erzielt.

6. Kooperationspartner

Berater: Prof. Beatrix Beisner, Univ. Quebec, Montreal; Prof. Frede Thingstad Univ. Bergen
Beide nahmen beratend an Projektworkshops (auch mit Vorträgen) teil.

Mehr als 10 WissenschaftlerInnen aus verschiedenen Universitäten und Instituten waren an Teilprojekten beteiligt. Viele weilten an den beteiligten Institutionen, andere beteiligten sich an Feldarbeiten oder mit Teilfragen in ihren Instituten.

7. Qualifikationen

Beáta Szabó: Growth investigation of some species belonging to the family Fragilariaceae related to temperature and light, 2013, MSc, University of Pannonia, Tihany (Hungary).

8. Publikationen

- Aslamov, I. A., Kozlov, V. V., Kirillin, G. B., Mizandrontsev I.B., Kucher K.M., Makarov M.M., Gornov A. Yu., & Granin, N. G. (2014). Ice–water heat exchange during ice growth in Lake Baikal. *Journal of Great Lakes Research*, **40**, 599-607.
- Bernhardt, J., Kirillin, G., & Hupfer, M. (2014). Periodic convection within littoral lake sediments on the background of seiche driven oxygen fluctuations. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*, **4**, 17-33.
- Bertilsson, S., Burgin, A., Carey, C.C., Fey, S.B., Grossart, H.P., Grubisic, L.M., Jones, I.D., Kirillin, G., Lennon, J.D., Shade, A., Smyth, R.L. (2013) The under-ice microbiome of seasonally frozen lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **58**(6):1998–2012.
- Crowther, T., Grossart, H.-P. (2015) The role of bottom-up and top-down interactions in determining microbial and fungal diversity and function. *Trophic Ecology: Bottom-Up and Top-Down Interactions across Aquatic and Terrestrial Systems*. Eds. T. C. Hanley and K. J. La Pierre, published by Cambridge University Press.
- Dadheech PK, Selmečzy GB, Vasas G, Padisák J, Arp W, Tapolczai K, Casper P, & Krienitz L (2014). Presence of potential toxin-producing cyanobacteria in an oligo-mesotrophic lake in Baltic Lake District, Germany: An ecological, genetic and toxicological survey. *Toxins* **6**, 2912-2931.
- Engelhardt, C., & Kirillin, G. (2014). Criteria for the onset and breakup of summer lake stratification based on routine temperature measurements. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, **184**, 183-194.
- Fuchs A, Lyautey E, Montuelle B, Casper P (2015). Temperaturanstieg stimuliert Methanoxidation stärker als Methanproduktion. In: Hardegsen (Hrsg.). *Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2014 (Magdeburg)*, Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL). *In press*
- Fuchs A, Selmečzy GB, Kasprzak P, Padisák J, Casper P. (2015). Coincidence of sedimentation peaks with diatom blooms, wind and calcite precipitation measured in high-resolution by a multi-trap. *Hydrobiologia (in press, DOI: 10.1007/s10750-015-2388-9)*.
- Kirillin G., Lorang M. S., Lippmann T. C., Gotschalk C. C., & Schimmelpfennig S. (2015). Surface seiches in Flathead Lake. *Hydrology and Earth System Sciences*, **19**, accepted 11 May 2015.
- Kirillin, G., Shatwell, T., & Kasprzak, P. (2013). Consequences of thermal pollution from a nuclear plant on lake temperature and mixing regime. *Journal of Hydrology*, **496**, 47-56.
- Krause, S., Le Roux, X., Niklaus, P.A., Van Bodegom, P.M., Bertilsson, S., Grossart, H.-P., Philippot, L., Lennon, J.T., Bodelier, P.L.E. (2014) Trait-based approaches for understanding

- microbial biodiversity and ecosystem functioning. *Front. Microbiol.*, publ. 27 May 2014, doi: 10.3389/fmicb.2014.00251.
- Mc Ginnis, D.F., Kirillin, G., Tang, K.W., Flury, S., Bodmer, P., Engelhardt, C., Casper, P., Grossart, H.-P. (2015) Enhancing surface methane fluxes from an oligotrophic lake: Exploring the microbubble hypothesis. *Environ. Sci. & Tech.* 49, 873–880, DOI: 10.1021/es503385d.
- Selmeczy GB, Tapolczai K, Casper P, Krienitz L, Padisák J (2015). Spatial- and niche segregation of DCM-forming cyanobacteria in Lake Stechlin (Germany). *Hydrobiologia*, in press. DOI 10.1007/s10750-015-2282-5.
- Szabó B, Padisák J, & Stenger-Kovács C.S. (2014). Attached diatom flora of Lake Stechlin, Germany. *Hidrológiai Közlöny (Hydrological Bulletin)* **94**, 79-81.
- Tada, Y. and Grossart, H.P. (2014) Community shifts of actively growing lake bacteria after N-acetyl-glucosamine addition: improving the BrdU-FACS method. *ISME J.* 8(2):441-454, doi:10.1038/ismej.2013.148.
- Tang, K.W., Mc Ginnis, D.F., Frindte, K., Brüchert, V., Grossart, H.P. (2014) Paradox reconsidered: Methane oversaturation in well-oxygenated lake waters. *Limnol. Oceanogr.* 59(1), 2014, 275–284.
- Tang, K. W., Gladyshev, M. I., Dubovskaya, O. P., Kirillin, G., & Grossart, H. P. (2014). Zooplankton carcasses and non-predatory mortality in freshwater and inland sea environments. *Journal of Plankton Research*, **36**, 597-612.
- Üveges, V, Tapolczai, K, Krienitz, L, & Padisák, J (2012). Photosynthetic characteristics and physiological plasticity of an *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanobacteria, Nostocaceae) winter bloom in a deep oligo-mesotrophic lake (Lake Stechlin, Germany). *Hydrobiologia* **698**, 263–272.
- Walsh, D.A., Lafontaine, J., Grossart, H.P. (2013) On the Eco-Evolutionary Relationships of Fresh and Salt Water Bacteria and the Role of Gene Transfer in Their Adaptation. Book Chapter in U. Gophna (ed.), *Lateral Gene Transfer in Evolution*, DOI 10.1007/978-1-4614-7780-8_3, © Springer Science+Business Media New York 2013.
- Wurzbacher, C., Rösel, S., Rychla, A., Grossart, H.P. (2014). Importance of Saprotrophic Freshwater Fungi for Pollen Degradation. *PLoS ONE* 9(4): e94643.doi:10.1371/journal.pone.0094643.

Web publications:

Kirillin, G. (2012) Climate scenarios for thermal regime of Lake Stechlin 2010-2100. <http://www.lake-lab.de/index.php/results.html> Accessed on 01 June 2015

9. Pressemitteilungen und Medienberichte

(aus Platzmangel wird hier nur die Zusammenfassung dargestellt)

Medienarbeit

- 3 IGB-Medienmitteilungen zum Seelabor inkl. TemBi-Projekt
- 5 Agentur-Meldungen
Agenturen: dpa,dapd,dpa-Kinder
- 9 Fernsehbeiträge
Sender: 3-sat, ARD, Arte, rbb, Schweizer Fernsehen
- 9 Radiobeiträge
Sender: Bayern 2, Deutschlandfunk, Deutschlandradio, rbb,
- Über 50 Beiträge in Druckmedien
Regionale Medien: Gransee Zeitung, Märker, Märkische Allgemeine Zeitung, Wissenswertes vom Förderverein Naturlandschaft Stechlin und Menzer Heide, Wochenspiegel
Überregionale Medien: Abendzeitung München, Augsburg Allgemeine, Berliner Morgenpost, Berliner Zeitung, Bild Zeitung, Bonner General Anzeiger, DFG-Jahresbericht, Fokus, Frankfurter Rundschau, Handelsblatt, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Lausitzer Rundschau, Leibniz-Journal, Naturmagazin, Neues Deutschland, Nordkurier,

Potsdamer Neueste Nachrichten, Sächsische Zeitung, Unterwasser, Verbundjournal
Internationale Medien: Basler Zeitung, KQED Science, Nature, Popular Science, SIL-
news, Tages-Anzeiger Zürich

Öffentlichkeitsarbeit

- 2 Öffentlichkeitstage
2012 und 2014 mit mehr als 300 bzw. 500 Besuchern
- Messeauftritt an «Wasser Berlin 2013»
- Seelabor-Website (www.seelabor.de und www.lake-lab.de)
- Seelabor-Flyer
- Seelabor-Dauerausstellung im Stechlinsee-Center
- Seelabor-Informationstafeln an strategischen Punkten am Stechlinsee
- Besuche zahlreicher Vertreter aus Politik und Gesellschaft
Bundesebene: Prof. Dr. Johanna Wanka, Bundesministerin für Bildung und Forschung, Reinhold Ollig und Dr. Helmut Löwe beide Bundesministerium für Bildung und Forschung, Prof. Karl Ulrich Mayer, Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, Antje Uhlig, Deutschen Bank, Stefan Volovinis, Deutschland – Land der Ideen
Landesebene: Prof. Dr. Matthias Freude, Präsident Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz – Brandenburg, Dr. Josef Glombik, Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur – Brandenburg, Dr. Jutta Koch-Unterseher, Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung – Berlin, Prof. Dr. Robert Seckler Vizepräsident Forschung der Universität Potsdam, Prof. Jörg Steinbach, Präsident Technische Universität Berlin
Regionale Ebene: Karl-Heinz Schröter, Landrat Oberhavel