

Praktikum

Aquatische Ökologie 2020



PD Dr. Maren Striebel, Dominik Bahlburg, Laura Hennigs,
Charlotte Kunze, Mike Jan Smykala

Zum ersten Mal findet dieses Praktikum - nach Absprache mit dem Modulverantwortlichen - online statt.

Wir haben in weniger als zwei Wochen nicht nur daran gearbeitet, einen Kurs online verfügbar zu machen, sondern ein Praktikum durch einen Online-Kurs zu ersetzen. Dabei haben wir zwei Ziele: zum einen möchten wir Ihnen in der derzeitigen Situation ermöglichen, Ihr Studium ohne Zeitverzögerung weiterzuführen und zum anderen möchten wir Ihnen die Inhalte des Praktikums, eine Grundlage der Aquatischen Ökologie, vermitteln. Dafür ist der Kurs in unterschiedliche Themenbereiche unterteilt, welche wir mit unterschiedlichen Mitteln bearbeiten: Vorlesungen, Fragebögen, Kurzvorträge, Vorstellungen von Experimenten und Datenanalyse.

Es mag sein, dass diese Version des Kurses noch nicht perfekt ist, wir machen das zum ersten Mal (hier ein DANKE an alle Tutoren des Kurses, die sehr viel Zeit in die Vorbereitung investiert haben!). Deswegen bitten wir um Rückmeldungen, gerne auch während des Kurses, wenn es Vorschläge zu Veränderungen und Verbesserungen gibt, wenn etwas nicht funktioniert oder unklar ist.

Diese Lehrveranstaltung soll kein ‚R-Kurs‘ sein, allerdings möchten wir ‚R‘ nutzen, um gemeinsam und in Kleingruppen unsere Daten zu analysieren. Unter StudIP 'Lernmodule' sind bereits grundlegende Videos zu 'R' verfügbar. Wir werden am ersten Tag des Kurses mit einer grundlegenden Erkundung in R starten.

Der Kurs soll auf **StudIP** stattfinden. Hierfür haben wir die Studiengruppe ‚Aquatische Ökologie 2020‘ erstellt. Wer noch nicht in diese Gruppe eingetreten ist muss dies bis zum Kursbeginn machen. In StudIP haben wir einige Funktionen, die wir nutzen werden:

Forum: Hier ist Raum für allgemeine Diskussionen

Dateien: Hier werden wir Dokumente, Literatur, Daten und Skripte zum Kurs bereitstellen. Hier können Sie auch Dateien hinzufügen

Informationen: Aktuelle Infos sind hier verfügbar

Vips: Bitte unter Übungsgruppen für die Kurzreferate und die Themen für den Bericht eintragen. Unter Aufgabenblätter werden jeden Tag nach den Vorlesungen Fragen zu beantworten sein.

Meetings: Über diese Möglichkeit werden die Vorlesungen und Besprechungen stattfinden. Unter Meetings wird ein ‚Raum‘ verfügbar sein, in dem wir uns ‚treffen‘ werden.

Lernmodule: Hier sind Videos zu R verfügbar. Außerdem werden hier Videos von Vorlesungen hochgeladen.

Struktur, Ablauf und Themen des Kurses:



Kursbeginn ist täglich 9 Uhr. Am ersten Tag treffen wir uns im ‚Meeting‘. Nach jeder Vorlesung wird es ‚Fragen‘ geben, die unter ‚Vips‘ ausgefüllt werden müssen, als Nachweis für das

Besuchen der Vorlesung bzw. um evtl. Unklarheiten zu erkennen. In der zweiten Woche müssen jeweils zwei Studierende gemeinsam eine Publikation vorstellen („*Kursreferate*“, 5 min. je Paper). Hierfür bitte eine Publikation auswählen und in Vips eintragen. Dies ist Pflicht, wird nicht benotet, kann aber zur Notenverbesserung beitragen (wenn wir hier sehr gute Leistungen sehen werden diese positiv vermerkt). Danach werden wir täglich die Experimente vorstellen und die Daten dazu erklären. In der ersten Woche werden wir Skripte bereitstellen und in Kleingruppen die Daten analysieren. Die Themen 3-5 der zweiten Woche werden in Kleingruppen (mit Tutoren) erarbeitet und sind Gegenstand des schriftlichen Praktikumsberichts. Jeder Studierende wählt **eines** der drei Themen und fertigt einen Bericht an. Hierfür bitte ebenfalls in Vips eintragen (maximal 9 Personen je Thema). Eine gemeinsame Diskussion schließt den Praktikumstag ab.

Praktikumsbericht

Der Bericht umfasst eine Einleitung (Literaturbezug ist hier wichtig, Fragestellung / Hypothese ebenfalls) die auf die Fragestellung hinleitet, einen kurzen Methodenteil, Ergebnisse (ein Ergebnis und daher **eine** Abbildung), und eine Diskussion welche die eigenen Ergebnisse in Bezug zu vorhandener Literatur stellt. Die Länge des Berichts soll 3-5 Seiten umfassen (plus Literaturverzeichnis). Abgabetermin ist der **04.05.2020**. Dieser Bericht wird bewertet.

Jede/r Teilnehmer/in liefert einen Bericht ab, der benotet wird. Es werden nur Einzelprotokolle akzeptiert, keine Gruppenprotokolle. Bei augenscheinlich kopierten Berichten werden diese als nicht abgegeben gewertet. Ausschnitte aus Lehrbüchern, Publikationen, etc. müssen als solche mit Quellenangabe gekennzeichnet werden. Der Stil des Protokolls ist an eine wissenschaftliche Publikation anzulehnen und entsprechende Literatur ist einzuarbeiten. Für den Bericht gilt folgende Gliederung:

Titel:

Thema (Nr.) und -Überschrift; Name des Autors, Matrikelnummer

Einleitung:

Ziel der Studie inklusive der Hintergrundinformation, um dieses Ziel zu verstehen, sowie Hypothesen bzw. Fragestellung. Zitate zum Hintergrund sollen hier angebracht werden; mindestens 10 Paper als Referenzen sind in den Text einzubinden.

Methoden:

Darstellung der Herangehensweise, der Messungen und ihrer Durchführung, der verwendeten Materialien und der Statistik. Dieser Teil muss für sich selbst genommen verständlich sein und soll nicht auf das Skript verweisen.

Ergebnisse:

In diesem Bericht soll auf ein Ergebnis fokussiert werden. Generell werden Grafiken und Tabellen konsekutiv nummeriert, Grafiken mit einer Unterschrift, Tabellen mit einer Überschrift versehen, die zum Verständnis der dargestellten Grafiken oder Tabellen dient. Im Text wird auf die Grafik/Tabelle verwiesen, ohne den ganzen Unterschriftentext zu wiederholen. Die Statistik kann in einer Tabelle (Verweis im Text auf diese Tabelle) oder im Text selber angegeben sein. Erklärungen zu den Ergebnissen gehören nicht in den Ergebnisteil, sondern in die Diskussion.

Diskussion:

Dies ist der wichtigste Bestandteil des Protokolls und der, in dem die Daten interpretiert werden. Beginnen Sie mit dem Vergleich Ihrer Ergebnisse mit der Hypothese. Diskutieren Sie ob und warum die Daten der Hypothese entsprechen oder nicht. Gehen Sie dabei auch auf mögliche Fehler im Experimentansatz und in der Durchführung ein. Auch hier sollen ähnliche Studien aus der Literatur zitiert werden. Beenden Sie die Diskussion mit einem Absatz zu den Schlussfolgerungen.

Referenzen:

Hier werden alle im Text aufgeführten Zitate angebracht. Zu einem vollständigen Zitat gehören Autoren, Jahr, Titel und Quellenangabe, zum Beispiel:

Begon, M., C. R. Townsend, and J. L. Harper. 2005. Ecology - From individuals to ecosystems, 4th edition. Blackwell Publishing.

Knight, T. M., M. W. McCoy, J. M. Chase, K. A. McCoy, and R. D. Holt. 2005. Trophic cascades across ecosystems. Nature 437:880-883.

Inhalt des Praktikums Aquatische Ökologie:

Thema 1: Diversität

Thema 2: Licht

Thema 3: Nährstoffe und Ko-Limitierung

Thema 4: Zooplankton

Thema 5: Temperatur und Nährstoffe

Thema 1: Diversität

Theoretischer Hintergrund

Die Anzahl der Arten in einer Lebensgemeinschaft wird als ihr Artenreichtum bezeichnet. Die Anzahl der erfassten Arten hängt dann von der Anzahl der gezogenen Stichproben oder von der Größe des Habitats ab, das erforscht wurde. Die häufigsten Arten sind wahrscheinlich schon in den ersten Stichproben vertreten, und wenn mehr Stichproben genommen werden, werden der Artenliste auch die selteneren Arten hinzugefügt. An welchem Punkt hört man auf, weitere Proben zu nehmen? Idealerweise sollte der Forscher die Probennahme so lange fortsetzen, bis die Anzahl der Arten ein Plateau erreicht. Zumindest sollte der Artenreichtum verschiedener Lebensgemeinschaften nur dann verglichen werden, wenn der gleiche Probenumfang zugrunde liegt (hinsichtlich der untersuchten Fläche des Habitats, der für die Probennahme aufgewendeten Zeit oder, am besten, hinsichtlich der mit den Stichproben erfassten Zahl von Individuen).

Ein wesentlicher Aspekt der Struktur einer Lebensgemeinschaft wird jedoch völlig ignoriert, wenn ihre Zusammensetzung lediglich in Form der Artenzahl beschrieben wird: dass nämlich manche Arten selten und andere häufig sind. Intuitiv scheint eine Lebensgemeinschaft aus zehn Arten mit jeweils gleicher Individuenzahl stärker divers zu sein als eine andere, die gleichfalls aus zehn Arten besteht, wobei jedoch 91% der Individuen zur häufigsten Art gehören und nur jeweils 1% zu einer der anderen neun. Ansätze, welche die komplexe Struktur einer Lebensgemeinschaft durch nur eine einzige Eigenschaft wie Artenreichtum oder Diversität beschreiben, werden auch deshalb kritisiert, weil dadurch wertvolle Informationen verlorengehen. Ein vollständigeres Bild der Verteilung der Artenhäufigkeit in einer Lebensgemeinschaft lässt sich durch ein Rang-Abundanz-Diagramm erstellen (Abb. 1.1).

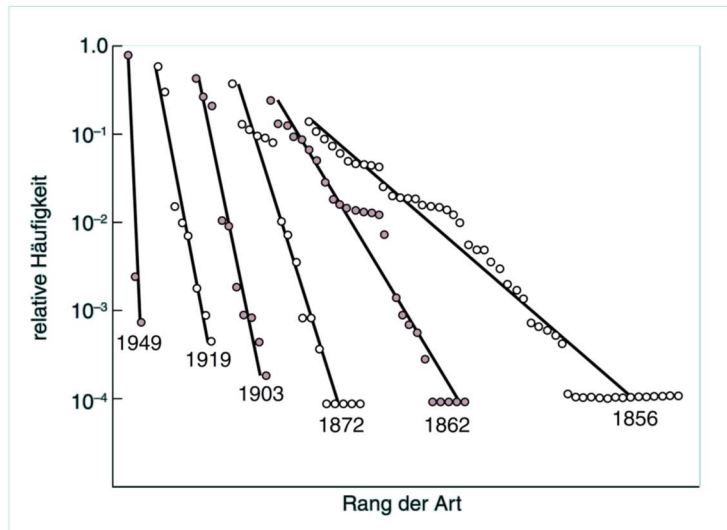


Abbildung 1.1: Änderungen im Rang-Abundanz-Muster von Pflanzenarten auf den gedüngten Parzellen des Rothamsted-Experiments 1856 bis 1949. Nach Beginn der Düngierzufuhr wird die Steigung der Regressionsgeraden mit der Zeit stetig steiler. Eine steilere Steigung zeigt an, dass eine häufigere Art einen größeren

Anteil der gesamten Lebensgemeinschaft einnimmt – mit anderen Worten: Die Lebensgemeinschaft der Weide wurde nach und nach von nur wenigen Arten dominiert (nach Tokeshi 1993)

Experiment & Daten

Jeder Studierende verwendet eine Packung ‚Haribo Color-Rado‘, ‚Haribo Color-Rado mini‘, oder ein vergleichbares Produkt.

Diese bitte vor dem Kurs besorgen. In einem ersten Schritt wird der Inhalt nach ‚Arten‘ sortiert und nach Häufigkeit geordnet:



Abbildung 1.2: Inhalt einer Packung Haribo Color-Rado mini

Im nächsten Schritt werden die ‚Arten‘ definiert und die Anzahl jeder Art bestimmt. Da wir die Daten aller Studierenden schlussendlich in einem Datensatz sammeln und bearbeiten möchten ist es sinnvoll, die ‚Artbestimmung‘, also die ‚Namen‘ der ‚Arten‘ anzugleichen. Alle Daten werden in einer Tabelle aufgenommen, relative Abundanzen bestimmt und Rang-Abundanz-Diagramme erstellt. Hier soll die Frage beantwortet werden, ob es eine dominante ‚Art‘ gibt oder ob alle Arten ‚gleichverteilt‘ vorkommen.

- Gruner, V. L. Jin, J. A. Klein, J. M. H. Knops, K. J. La Pierre, W. Li, R. L. McCulley, B. A. Melbourne, J. L. Moore, L. R. O'Halloran, S. M. Prober, A. C. Risch, M. Sankaran, M. Schuetz, A. Hector, L. R. O'Halloran, S. M. Prober, A. C. Risch, M. Sankaran, M. Schuetz, and A. Hector. 2014. Eutrophication weakens stabilizing effects of diversity in natural grasslands. *Nature* 508:521–5.
- Hector, A., and R. Bagchi. 2007. Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature* 448:188–190.
- Isbell, F., V. Calcagno, A. Hector, J. Connolly, W. S. Harpole, P. B. Reich, M. Scherer-Lorenzen, B. Schmid, D. Tilman, J. van Ruijven, A. Weigelt, B. J. Wilsey, E. S. Zavaleta, and M. Loreau. 2011. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature* 477:199–202.
- Jain, M., D. F. B. Flynn, C. M. Prager, G. M. Hart, C. M. Devan, F. S. Ahrestani, M. I. Palmer, D. E. Bunker, J. M. H. Knops, C. F. Jouseau, and S. Naeem. 2014. The importance of rare species: A trait-based assessment of rare species contributions to functional diversity and possible ecosystem function in tall-grass prairies. *Ecology and Evolution* 4:104–112.
- Lefcheck, J. S., J. E. K. Byrnes, F. Isbell, L. Gamfeldt, J. N. Griffin, N. Eisenhauer, M. J. S. Hensel, A. Hector, B. J. Cardinale, and J. E. Duffy. 2015. Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats. *Nature Communications* 6:6936.
- Leibold, M. A. 1999. Biodiversity and nutrient enrichment in pond plankton communities. *Evolutionary Ecology Research* 1:73–95.
- Lyons, K. G., C. A. Bringham, B. H. H. Traut, and M. W. Schwartz. 2005. Rare species and ecosystem functioning. *Conservation Biology* 19:1019–1024.
- Moss, B. 2000. Biodiversity in fresh waters – an issue of species preservation or system functioning? *Environmental Conservation* 27:1–4.
- Mouillot, D., D. R. Bellwood, C. Baraloto, J. Chave, R. Galzin, M. Harmelin-Vivien, M. Kulbicki, S. Lavergne, S. Lavorel, N. Mouquet, C. E. T. Paine, J. Renaud, and W. Thuiller. 2013. Rare Species Support Vulnerable Functions in High-Diversity Ecosystems. *PLoS Biology* 11:e1001569.
- Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* 12:39–45.
- Rockström, A., J. W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falke, and J. Fole. 2009. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* 14.
- Yachi, S., and M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: the insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96:1463–1468.

Thema 2: Licht

Theoretischer Hintergrund

Für die aquatische Primärproduktion sind Nährstoffe und Licht ko-limitierende Faktoren, die heterogen in der Wassersäule verteilt sind. Mit zunehmender Wassertiefe sinkt die Lichtverfügbarkeit, welche zusätzlich durch die Selbstbeschattung der Primärproduzenten weiter reduziert wird. Die Lichtverfügbarkeit für das Phytoplankton ändert sich ebenfalls durch den tageszeitbedingten Transport innerhalb der Wassersäule (vertikales Mischen).

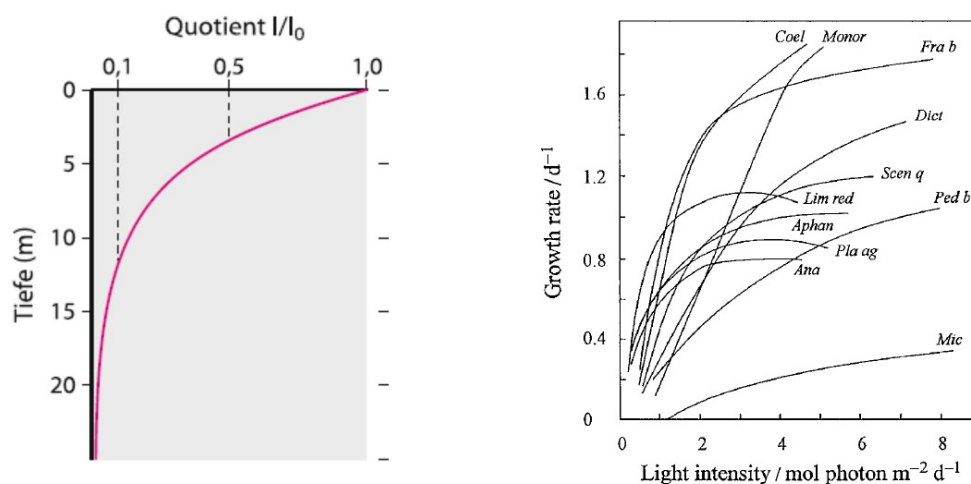


Abbildung 2.1: Vertikales Lichtprofil nach Sommer 1994 (links) und Phytoplankton Wachstumsraten bei unterschiedlichen Lichtintensitäten (rechts).

Die Struktur von Phytoplanktongemeinschaften wird durch diese räumlich heterogene Lichtverfügbarkeit entscheidend beeinflusst. Des Weiteren hängt die Energiegewinnung durch Photosynthese maßgeblich von der Lichtverfügbarkeit ab (Abb. 2.1). Verschiedene Phytoplanktonarten besitzen unterschiedliche Pigmentzusammensetzungen und haben dadurch die Möglichkeit, sich den Umweltbedingungen anzupassen und ein Lichtdefizit auszugleichen.

Experiment & Daten

Die lichtabhängigen Wachstumskurven einer natürlichen Gemeinschaft wurden durch Inkubation der Gemeinschaft in 1 l-Flaschen unter einem Lichtgradienten (Intensitätsgradient) bestimmt. Dazu wurden verschiedene Arten von Netzen, jeweils mit unterschiedlich dichten Maschen, verwendet, um 12 Lichtintensitäten zu erzeugen. Flaschen, welche natürlichem Licht direkt (ohne Netze) ausgesetzt waren, erhielten somit 100% der Lichtverfügbarkeit, Flaschen,

welche unter vollständig dunklen Bedingungen inkubiert wurden, 0% Lichtverfügbarkeit. Die natürliche Gemeinschaft wurde aus dem See Erken in Schweden entnommen und in Süßwassermedium (WC-Wachstumsmedium) kultiviert. Nährstoffe (N und P) wurden gemäß der Konzentrationen des WC-Wachstumsmediums zugesetzt, um eine Wachstumsbeschränkung durch Nährstoffe zu vermeiden. Die Fluoreszenz als Maß für Biomasse wurde täglich in jeder Flasche unter Verwendung eines Handfluorometers gemessen, alle zwei Tage wurde partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) und Stickstoff bestimmt (N). Dazu wurde täglich eine Wasserprobe aus den Inkubationsflaschen entnommen und mit Hilfe einer Filtrationsanlage gefiltert. Die Filter für partikulären organischen Kohlenstoff und Stickstoff wurden drei Tage bei 60 ° C getrocknet, in Zinnkapseln gegeben und unter Verwendung eines Elementaranalysators (Thermo, Flash EA 1112) gemessen.

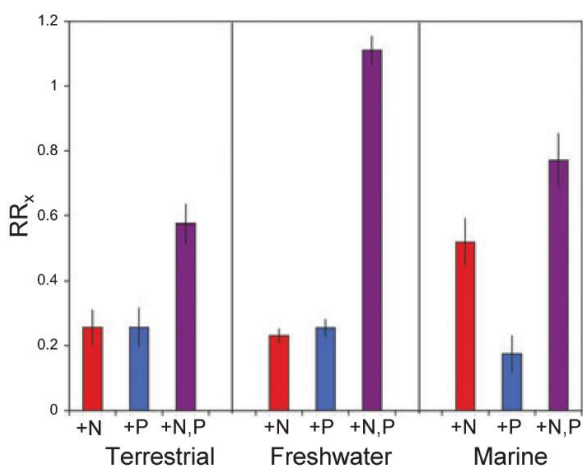
Literatur

- Berger, S. A., S. Diehl, T. J. Kunz, D. Albrecht, A. M. Oucible, and S. Ritzer. 2006. Light supply, plankton biomass, and seston stoichiometry in a gradient of lake mixing depths. *Limnology and Oceanography* 51:1898–1905.
- Diehl, S. 2002. Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: theory. *Ecology* 83:386–398.
- Flöder, S., and C. W. Burns. 2005. The influence of fluctuating light on diversity and species number of nutrients-limited phytoplankton. *Journal of Phycology* 41:950–956.
- Hessen, D. O., P. J. Faerovig, and T. Andersen. 2002. Light, nutrients, and P : C ratios in algae: Grazer performance related to food quality and quantity. *Ecology* 83:1886–1898.
- Huisman, J., and F. Weissing. 1995. Competition for nutrients and light in a mixed water column: a theoretical analysis. *American Naturalist* 146:536–564.
- Karlsson, J., P. Byström, J. Ask, P. Ask, L. Persson, and M. Jansson. 2009. Light limitation of nutrient-poor lake ecosystems. *Nature* 460:506–9.
- Litchman, E. 1998. Population and community responses of phytoplankton to fluctuating light. *Oecologia* 117:247–257.
- Litchman, E. 2000. Growth rates of phytoplankton under fluctuating light. *Freshwater Biology* 44:223–235.
- Stomp, M., J. Huisman, F. de Jongh, A. J. Veraart, D. Gerla, M. Rijkeboer, B. W. Ibelings, U. I. A. Wollenzien, and L. J. Stal. 2004. Adaptive divergence in pigment composition promotes phytoplankton biodiversity. *Nature* 432:104–107.
- Stomp, M., J. Huisman, L. Voros, F. R. Pick, M. Laamanen, T. Haverkamp, and L. J. Stal. 2007. Colourful coexistence of red and green picocyanobacteria in lakes and seas. *Ecology Letters* 10:290–298.
- Striebel, M., S. Behl, S. Diehl, and H. Stibor. 2009. Spectral Niche Complementarity and Carbon Dynamics in Pelagic Ecosystems. *The American Naturalist* 174:141–147.

Thema 3: Nährstoffe und Ko-Limitierung

Theoretischer Hintergrund

Die Primärproduktion durch Phytoplankton ist durch verschiedene Faktoren wie z.B. Licht, Temperatur, Salzgehalt oder Nährstoffe beeinflusst. Während einige Nährstoffe fast immer im Überschuss vorhanden sind (Ca, K, Mg, Cl) können andere ein limitierender Faktor sein. Meistens sind das Stickstoff (N) oder Phosphat (P) - für Kieselalgen auch Silikat (Si). Da durch die Limitierung an Licht oder Nährstoffen meist auch eine Limitierung der Wachstumsraten einhergeht, werden in diesem Versuch die Wachstumsraten von Phytoplankton unter unterschiedlichen Nährstoffbedingungen untersucht.



Elser et al. (2007) haben gezeigt, dass verschiedene Gemeinschaften (marin, limnisch und terrestrisch) meist nicht nur durch einen Nährstoff limitiert sind, sondern eine Co-limitierung verschiedener Nährstoffe vorkommt (Abb. 3.1). Dies soll in diesem Versuch anhand von einer marinen und einer limnischen Phytoplanktongemeinschaft untersucht werden, die unter verschiedenen Nährstoffzugaben inkubiert werden.

Abbildung 3.1.: Response ratios (RR) von terrestrischen, limnischen und marinen Gemeinschaften auf die Zugabe von N (rot) oder P (blau) und der Kombination aus +N und +P (lila).

Experiment & Daten

Natürliche Phytoplanktongemeinschaften wurden von unterschiedlichen Standorten der Jadebucht entnommen. Unterschiedliche Nährstoffe / Nährstoffkombinationen wurden hinzugefügt: P (Phosphat, PO₄), N (Stickstoff), Si (Silikat), P+N, P+Si, N+Si, N+P+Si, Kontrolle (alle Nährstoffe in hohen Konzentrationen, um einen Überfluss zu sichern). Die Gemeinschaften wurden bei 18°C und Licht im 12h Tag-/12h Nacht-Rhythmus für 7 Tage inkubiert, an Tag 0, 6 und 7 gemessen. Fluoreszenzmessungen wurden als Biomasse-Maß verwendet. Jeder Ansatz wurde 3-mal repliziert. Dabei soll als Fragestellungen bearbeitet werden, welche Nährstoffe /

Kombination an Nährstoffen das Wachstum der natürlichen Gemeinschaften limitieren und ob ein Unterschied zwischen den Gemeinschaften von verschiedenen Standorten zu erkennen ist.

Literatur

Arrigo, K. R. 2005. Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature* 437:349–355.

Bloom, A. J., F. S. Chapin, and H. A. Mooney. 1985. Resource limitation in plants--an economic analogy. *Annual review of Ecology and Systematics*:363–392.

Chapin, F. S., A. J. Bloom, C. B. Field, and R. H. Waring. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *Bioscience*:49–57.

Danger, M., T. Daufresne, F. Lucas, S. Pissard, and G. Lacroix. 2008. Does Liebig's law of the minimum scale up from species to communities? *Oikos* 117:1741–1751.

Elser, J. J., M. E. S. Bracken, E. E. Cleland, D. S. Gruner, W. S. Harpole, H. Hillebrand, J. T. Ngai, E. W. Seabloom, J. B. Shurin, and J. E. Smith. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters* 10:1135–1142.

Elser, J. J., H. J. Carney, and C. R. Goldman. 1990. The zooplankton-phytoplankton interface in lakes of contrasting trophic status: an experimental comparison. *Hydrobiologia* 200:69–82.

Elser, J. J., W. F. Fagan, R. F. Denno, D. R. Dobberfuhl, A. Folarin, A. Huberty, S. Interlandi, S. S. Kilham, E. McCauley, K. L. Schulz, E. H. Siemann, and R. W. Sterner. 2000. Nutritional Constraints in Terrestrial and Freshwater Food Webs. *Nature* 408:578–580.

Gleeson, S. K., and D. Tilman. 1992. Plant allocation and the multiple limitation hypothesis. *American Naturalist*:1322–1343.

Harpole, W. S., J. T. Ngai, E. E. Cleland, E. W. Seabloom, E. T. Borer, M. E. S. Bracken, J. J. Elser, D. S. Gruner, H. Hillebrand, J. B. Shurin, and J. E. Smith. 2011. Nutrient co-limitation of primary producer communities: Community co-limitation. *Ecology Letters* 14:852–862.

Hecky, R. E., and P. Kilham. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments - a review of recent-evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography* 33:796–822.

Ptácnik, R., L. Lepistö, E. Willén, P. Brettum, T. Andersen, S. Rekolainen, A. Lyche Solheim, and L. Carvalho. 2008a. Quantitative responses of lake phytoplankton to eutrophication in Northern Europe. *Aquatic Ecology* 42:227–236

Ptácnik, R., A. G. Solimini, T. Andersen, T. Tamminen, P. Brettum, L. Lepistö, E. Willén, S. Rekolainen, L. Lepistö, E. Willén, and S. Rekolainen. 2008b. Diversity predicts stability and resource use efficiency in natural phytoplankton communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:5134–8.

Saito, M. A., T. J. Goepfert, and J. T. Ritt. 2008. Some thoughts on the concept of colimitation: three definitions and the importance of bioavailability. *Limnology and Oceanography* 53:276.

Vitousek, P. M., and R. W. Howarth. 1991. Nitrogen limitation on land and in the sea - how can it occur. *Biogeochemistry* 13:87–115.

Walker, T., and J. K. Syers. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15:1–19.

Thema 4: Zooplankton

Theoretischer Hintergrund

Daphnien gehören zu den herbivoren Zooplanktonen und fressen Phytoplankton, also pflanzliches Material. Ihre Fraßtätigkeit wird als ‚Beweidung‘ oder ‚Grazing‘ bezeichnet. Sie sind Filtrierer und nutzen ihre Borsten und Seitenborsten am 3. und 4. Beinpaar, um Partikel aus dem Wasser zu filtrieren (Dodson and Frey 1991). Sie fressen sehr kleine Futterpartikel von weniger als 1 µm bis ca. 25 µm Durchmesser, abhängig von ihrer eigenen Körpergröße. Das Filtrieren ist relativ unabhängig von Futterkonzentrationen: die Geschwindigkeit ist über einen großen Bereich an Futterkonzentrationen dieselbe. Filtrierer können ihre Futterpartikel nicht gezielt ergreifen und somit nicht zwischen ihnen auswählen. Falls toxische oder zu große Algen häufig sind, wird das Futter verworfen sobald es angesammelt ist. Dadurch können Daphnien sogar auch in sehr produktiven Habitaten futterlimitiert sein.

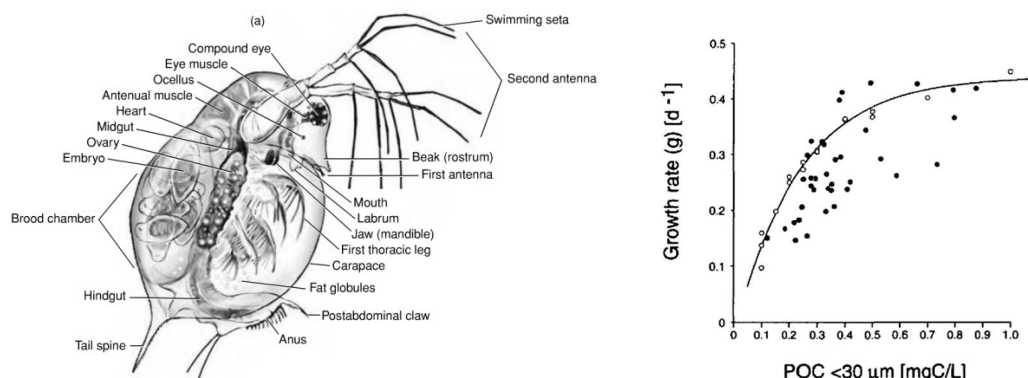


Fig. : Anatomie *Daphnia* (links) und Wachstumsraten von *Daphnia* in Abhängigkeit der Futtermenge (POC) (Müller-Navarra and Lampert 1996) (rechts).

Neben der Quantität des Futters ist auch die Qualität entscheidend. So unterscheiden sich verschiedene Algen im Gehalt an Phosphat (P) oder Stickstoff (N), mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA's), Sterolen oder anderen essentiellen Bestandteilen (Urabe und Sterner 1996, Müller-Navarra et al. 2000, Hessen et al. 2013, Sperfeld und Wacker 2011).

Durch extreme Wetterereignisse (z.B. Starkregen) werden große Mengen an allochthonem/terrestrischem gelösten organischen Material (DOM) in Gewässer eingetragen. Dieses besteht aus Aminosäuren, Nährstoffen und chromophorem gelösten organischen Material (cDOM) (Qualls and Haines 1991; Kirk 2010). Dies hat Auswirkungen auf die Primärproduzenten indem die Lichtverfügbarkeit reduziert und die Nährstoffverfügbarkeit erhöht wird. Dies kann zu einem verstärkten Bakterienwachstum und (durch Lichtreduktion)

reduzierten Phytoplanktonwachstum führen. In diesem Themenbereich soll der direkte Effekt von DOM auf Konsumenten, Daphnien, untersucht werden.

Experiment & Daten

Für diesen Versuch wurden Daphnien der Art *Daphnia magna* aus 4 verschiedenen Regionen und Habitaten verwendet und im Labor kultiviert. Die Daphnien stammten aus Deutschland (See), Belgien (See), Norwegen (großer Felsenpool) und Finnland (kleiner Felsenpool). Vor Versuchsbeginn wurden die *Daphnia magna* Kulturen in Mütter und Juvenile getrennt, damit zum Versuchsstart gleich alte juvenile Daphnien vorhanden waren. Zu Beginn des Versuchs wurden in 300 ml-Gläser je 200 ml Daphnien-Medium gefüllt, welches täglich erneuert wurde. In jedem Glas wurden 5 juvenile Daphnien kultiviert und ebenfalls täglich umgesetzt. Außerdem wurde täglich mit der gleichen Menge Algenlösung der Süßwasseralge *Scenedesmus obliquus* gefüttert. Dafür wurde jede Algen-Lösung täglich gemessen und der Chlorophyll a-Gehalt bestimmt. Insgesamt wurden 4 DOM Ansätze untersucht: kein DOM (Kontrolle/Only), wenig DOM (low), mittlere DOM Konzentration (intermediate) und hohe DOM Konzentration (High) (siehe Abb. 4.1). Die DOM-Zugabe erfolgte zusammen mit dem Füttern und Umsetzen der Daphnien täglich. Jede DOM-Behandlung wurde fünfmal repliziert (4 DOM Konzentration * 5 Replikate = 20 Gläser, pro 4 Regionen Σ = 80 Gläser). Um das Wachstum der Daphnien zu bestimmen und zu vergleichen, wurden am Versuchsende (nach 8 Tagen) die Daphnien getrocknet und das Trockengewicht als Biomasseindikator bestimmt.

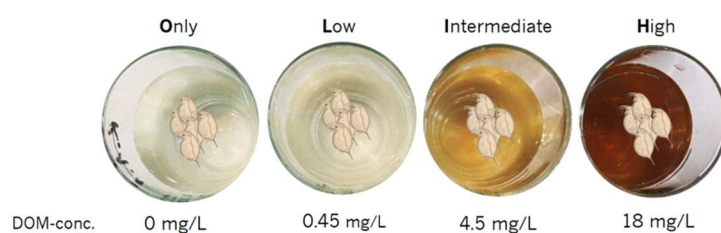


Abbildung 4.1: DOM Konzentrationen der verschiedenen DOM Ansätze. Jeder Ansatz besteht aus 5 Replikaten und wurde für jede der 4 Regionen aufgebaut.

Literatur

Andersen, T., and D. O. Hessen. 1991. Carbon, nitrogen, and phosphorus-content of fresh-water zooplankton. *Limnology and Oceanography* 36:807–814.

Becker, C. & Boersma, M. Resource quality effects on life histories of *Daphnia*. *Limnol. Oceanogr.* 48, 700–706 (2003).

- Diehl, S., S. Berger, and R. Wohrl. 2005. Flexible nutrient stoichiometry mediates environmental influences, on phytoplankton and its resources. *Ecology* 86:2931–2945.
- Elser, J. J., D. R. Dobberfuhl, N. A. MacKay, and J. H. Schampel. 1996. Organism size, life history, and N:P stoichiometry. *Bioscience* 46:674–684.
- Hessen, D. O., Elser, J. J., Sterner, R. W. & Urabe, J. Ecological stoichiometry: An elementary approach using basic principles. *Limnol. Oceanogr.* 58, 2219–2236 (2013).
- Miner, B. E., De Meester, L., Pfrender, M. E., Lampert, W., & Hairston Jr, N. G. Linking genes to communities and ecosystems.
- Müller-Navarra, D., and W. Lampert. 1996. Seasonal patterns of food limitation in *Daphnia galeata*: Separating food quantity and food quality effects. *Journal of Plankton Research* 18:1137–1157.
- Müller-Navarra, D. C., Brett, M. T., Liston, A. M. & Goldman, C. R. A highly unsaturated fatty acid predicts carbon transfer between primary producers and consumers. *Nature* 403, 74–77 (2000).
- Qualls, R. G., and B. L. Haines. 1991. Geochemistry of dissolved organic nutrients in water percolating through a forest ecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1112–1123.
- Sperfeld, E. & Wacker, A. Temperature- and cholesterol-induced changes in eicosapentaenoic acid limitation of *Daphnia magna* determined by a promising method to estimate growth saturation thresholds. *Limnol. Oceanogr.* 56, 1273–1284 (2011).
- Sterner, R. W. 1997. Modelling interactions of food quality and quantity in homeostatic consumers. *Freshwater Biology* 38:473–481.
- Urabe, J. & Sterner, R. W. Regulation of herbivore growth by the balance of light and nutrients. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 8465–8469 (1996).
- von Elert, E., Martin-Creuzburg, D. & Le Coz, J. R. Absence of sterols constrains carbon transfer between cyanobacteria and a freshwater herbivore (*Daphnia galeata*). *Proc. R. Soc. London. Ser. B Biol. Sci.* 270, 1209–1214 (2003).

Thema 5: Temperatur und Nährstoff Interaktionen

Theoretischer Hintergrund

Zwei der am weitesten verbreiteten Veränderungen des Ökosystems der letzten Jahrzehnte sind steigende Temperaturen und Veränderungen der Nährstoffverfügbarkeit (Tadonlélé 2010, Pomati et al. 2012). Arten werden in ihrer Physiologie und Populationsdynamik stark von der Temperatur beeinflusst; folglich kann die Erwärmung Gemeinschaften und ganze Ökosysteme verändern. In aquatischen Ökosystemen beeinflusst die Erwärmung die biogeochemischen Kreisläufe, die Nährstoff-, Sauerstoff- und CO₂-Verfügbarkeit. Durch diese abiotischen Reaktionen werden auch die Artenzusammensetzung und die Leistung in Süßwasserökosystemen verändert (Striebel et al. 2016). Obwohl die Erwärmung von Süßwassersystemen selten die grundlegende Nische des Phytoplanktons überschreitet, führen die unterschiedlichen Temperaturoptima der verschiedenen taxonomischen Gruppen zu Änderungen der Dominanz gegenüber besser angepassten Arten und dadurch zu Veränderung des Artenreichtums und der Zusammensetzung der Gemeinschaft (Rosset et al. 2010).

Die prägnanten Auswirkungen der Erwärmung hängen von synergistischen Effekten mit anderen Faktoren ab, vor allem von der Nährstoffverfügbarkeit. Ein Temperaturanstieg verändert die physiologischen Anforderungen von Phytoplankton in Richtung eines niedrigeren Phosphors-, aber eines höheren Stickstoffgehalts (Yvon-Durocher et al. 2015), wodurch das System möglicherweise von einer P- auf eine N-Limitierung umgeschaltet wird (Gilbert 2013). Die meisten Studien, die sich mit der Wechselwirkung zwischen Erwärmung und verändertem Nährstoffbedarf befassen, konzentrierten sich auf hohe Nährstoffbedingungen und zeigten synergistische Effekte von Eutrophierung und Erwärmung (Moss et al. 2003, Rosset et al. 2010). Diese Wechselwirkungen zwischen Nährstoff und Erwärmung unterscheiden sich stark in oligotrophen Systemen, in denen temperaturabhängige Nährstoffanforderungen nicht leicht durch Verfügbarkeit gedeckt werden können. Nur wenige Studien befassten sich jedoch explizit mit Erwärmungseffekten unter erniedrigten Nährstoffbedingungen (De Senerpont Domis et al. 2014, Velthuis et al. 2017).

Die Frage der Wechselwirkung zwischen Nährstoffbegrenzung und Erwärmung erlangt angesichts der weit verbreiteten Oligotrophierung in Süßwassersystemen derzeit eine große Relevanz (Jeppesen et al. 2005): Die Eutrophierung von Süßwassersystemen wurde weltweit als schwerwiegendes ökologisches und ökonomisches Problem identifiziert, was die Bemühungen um Reduzierung der Nährstoffbelastung (hauptsächlich Phosphor) durch Waschmittel und landwirtschaftliche Düngemittel bedingte. In den 1970er und 1980er Jahren wurden gezielte

Managementstrategien entwickelt und umgesetzt. Sowohl die Bemühungen zur Vermeidung eines neuen Zustroms als auch zur Reduzierung bereits vorhandener Nährstoffbelastungen waren erfolgreich und die Phosphorkonzentrationen in europäischen Seen sind immens zurückgegangen (Van Donk et al. 2008, Pomati et al. 2012). Hohe Nährstoffkonzentrationen sind häufig durch eine hohe Biomasseproduktion durch wenige dominante Arten gekennzeichnet, während eine Oligotrophierung, verbunden mit einer Abnahme der autotrophen Produktivität, den Artenreichtum und die Gleichverteilung innerhalb der Gemeinschaft erhöht (Pomati et al. 2012).

Experiment & Daten

Unter Verwendung einer Indoor-Mesokosmos-Anlage mit 12 sogenannten Planktotrons manipulierten wir die Temperatur (entweder konstant bei 20° C oder um +2° C pro Woche für eine gesamte Versuchsdauer von sieben Wochen) und die Nährstoffverfügbarkeit (entweder gleichbleibend oder um 20% pro Woche abnehmend) in einem faktoriellen Design.

Das 2x2-Faktor-Design wurde in jeweils drei Replikate durchgeführt: Zwei Nährstoffbedingungen, "konstante Nährstoffkonzentrationen" und "abnehmende Nährstoffkonzentrationen" und zwei Temperaturbehandlungen, "Umgebungstemperatur" und "steigende Temperatur", führten zu insgesamt 12 experimentellen Einheiten (3 Replikate x 2 Nährstoffbedingungen x 2 Temperaturbehandlungen).

Als Inokulum wurde eine natürliche Phytoplanktongemeinschaft aus einem eutrophen Teich in der Nähe von Leuven in Belgien (Langerode Vijver, 50 ° 49'44.1 "N 4 ° 38'21.9" E) verwendet, die unter Verwendung eines 20 m-Maschensiebs vorgefiltert wurde, um Zooplankton (Fraßfeinde) zu entfernen. Das Experiment wurde insgesamt 44 Tage lang durchgeführt.

In vivo Chlorophyll a-Konzentrationen wurden täglich nach dem Mischen der Planktotrons unter Verwendung eines Handfluorometers (TURNER DESIGNS, AquaFluor™) gemessen; Wassertemperatur und Lichtintensität wurden kontinuierlich unter Verwendung von Datenloggern (Onset HOBO Pendant® Datenlogger) aufgezeichnet.

Alle anderen Parameter wurden wöchentlich gemessen. Proben für Nährstoff- und Pigmentanalysen und die Phytoplanktonartenbestimmung wurden abgefüllt und sofort verarbeitet. Die Gesamtposphorkonzentrationen (TP) der Proben wurden durch Persulfatverdauung und anschließende Molybdatreaktion quantifiziert. Proben für partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Stickstoff (PON) und Phosphor (POP) wurden auf vorgeglühte und säuregewaschene Glasfaser-GFC (Whatman) -Filter filtriert. Die Filter wurden bis zur Analyse bei -80°C gelagert. Die CN-Elementzusammensetzung wurde mit einem CHN-Analysegerät

(Thermo, Flash EA 1112) und POP durch Molybdatreaktion nach Schwefelsäureaufschluss gemessen (Wetzel und Likens 2000).

Literatur

Adrian, R., C. M. O. Reilly, H. Zagarese, S. B. Baines, D. O. Hessen, W. Keller, D. M. Livingstone, R. Sommaruga, D. Straile, E. Van Donk, G. A. Weyhenmeyer, and M. Winder. 2009. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54:2283–2297.

Allen, A. P., and J. F. Gillooly. 2009. Towards an integration of ecological stoichiometry and the metabolic theory of ecology to better understand nutrient cycling. *Ecology Letters* 12:369–384.

Bestion, E., García-Carreras, B., Schaum, C. E., Pawar, S., & Yvon-Durocher, G. (2018). Metabolic traits predict the effects of warming on phytoplankton competition. *Ecology letters*, 21(5), 655–664.

Bestion, E., Schaum, C. E., & Yvon-Durocher, G. (2018). Nutrient limitation constrains thermal tolerance in freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography Letters*, 3(6), 436–443.

Butterwick, C., S. I. Heaney, and J. F. Talling. 2005. Diversity in the influence of temperature on the growth rates of freshwater algae, and its ecological relevance. *Freshwater Biology* 50:291–300.

E. Van Donk, D. O. Hessen, A. M. Verschoor, R. D. Gulati, E. Van Donk, D. O. Hessen, A. M. Verschoor, and R. D. Gulati. 2008. Re-oligotrophication by phosphorus reduction and effects on seston quality in lakes. *Limnologia* 38:189–202.

Filstrup, C. T., H. Hillebrand, A. J. Heathcote, W. S. Harpole, and J. A. Downing. 2014. Cyanobacteria dominance influences resource use efficiency and community turnover in phytoplankton and zooplankton communities. *Ecology Letters* 17:464–474.

Gilbert, J. a. 2013. Biological oceanography: Some phytoplankton like it hot. *Nature Climate Change* 3:954–955.

Gillooly, J. F., J. H. Brown, G. B. West, V. M. Savage, and E. L. Charnov. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293:2248–2251.

Hillebrand, H., T. Burgmer, and E. Biermann. 2012. Running to stand still: Temperature effects on species richness, species turnover, and functional community dynamics. *Marine Biology* 159:2415–2422.

Hillebrand, H., J. Soininen, and P. Snoeijs. 2010. Warming leads to higher species turnover in a coastal ecosystem. *Global Change Biology* 16:1181–1193.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, J. P. Jensen, K. E. Havens, O. Anneville, L. Carvalho, M. F. Coveney, R. Deneke, M. T. Dokulil, B. Foy, D. Gerdeaux, S. E. Hampton, S. Hilt, K. Kangur, J. Köhler, E. H. H. R. Lammens, T. L. Lauridsen, M. Manca, M. R. Miracle, B. Moss, P. Nöges, G. Persson, G. Phillips, R. Portielje, S. Romo, C. L. Schelske, D. Straile, I. Tatrai, E. Willén, and M. Winder. 2005. Lake responses to reduced nutrient loading - An analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology* 50:1747–1771.

Jöhnk, K. D., J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P. M. Visser, and J. M. Stroom. 2008. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14:495–512.

Lürling, M., F. Eshetu, E. J. Faassen, S. Kosten, and V. L. M. Huszar. 2013. Comparison of cyanobacterial and green algal growth rates at different temperatures. *Freshwater Biology* 58:552–559.

Moss, B., D. Mckee, D. Atkinson, S. E. Collings, J. W. Eaton, a. B. Gill, I. Harvey, K. Hatton, T. Heyes, and D. Wilson. 2003. How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology* 40:782–792.

Nijs, I., and I. Impens. 2000. Underlying Effects of Resource Use Efficiency in Diversity-Productivity Relationships. *Oikos* 91:204–208.

Pomati, F., B. Matthews, J. Jokela, A. Schildknecht, and B. W. Ibelings. 2012. Effects of re-oligotrophication and climate warming on plankton richness and community stability in a deep mesotrophic lake. *Oikos* 121:1317–1327.

Rosset, V., A. Lehmann, and B. Oertli. 2010. Warmer and richer? Predicting the impact of climate warming on species richness in small temperate waterbodies. *Global Change Biology* 16:2376–2387.

De Senerpont Domis, L. N., D. B. Van De Waal, N. R. Helmsing, E. Van Donk, and W. M. Mooij. 2014. Community stoichiometry in a changing world: combined effects of warming and eutrophication on phytoplankton dynamics. *Ecology* 95:1485–1495.

Striebel, M., S. Schabhüttl, D. Hodapp, P. Hingsamer, and H. Hillebrand. 2016. Phytoplankton responses to temperature increases are constrained by abiotic conditions and community composition. *Oecologia*.

Tadonlélé, R. D. 2010. Evidence of warming effects on phytoplankton productivity rates and their dependence on eutrophication status. *Limnology and Oceanography* 55:973–982.

Velthuis, M., L. N. De Senerpont Domis, T. Frenken, S. Stephan, G. Kazanjian, R. Aben, S. Hilt, S. Kosten, E. Van Donk, and D. B. Van De Waal. 2017. Warming advances top-down control and reduces producer biomass in a freshwater plankton community. *Ecosphere* 8.

Yvon-Durocher, G., M. Dossena, M. Trimmer, G. Woodward, and A. P. Allen. 2015. Temperature and the biogeography of algal stoichiometry. *Global Ecology and Biogeography* 24:562–570.