

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 56 (2015)
Heft: 3

Artikel: Geoengineering mittels Eisendüngung : welchen Effekt hat die Eisenkonzentration auf das Populationswachstum von Nannochloropsis occulata?

Autor: Braun, Hugo

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088129>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geoengineering mittels Eisendüngung. Welchen Effekt hat die Eisenkonzentration auf das Populationswachstum von *Nannochloropsis oculata*?

Hugo Braun

Zusammenfassung

Populationen von *Nannochloropsis oculata* (ein Phytoplankton) wurden unter gleichbleibenden Rahmenbedingungen mit verschiedenen Eisenkonzentrationen versetzt. Die Populationsdichten wurden über sechs Tage regelmässig gemessen. Nebenbei wurde die Zuverlässigkeit einer indirekten Messmethode überprüft. Es zeigte sich, dass Eisenkonzentrationen von bis zu 67.5 nM einen leicht positiven Einfluss auf das Wachstum des Planktons hatten. Von Relevanz könnten diese Resultate für eine Reihe von Anwendungsbereichen sein: So verursachen Eisendüngungsversuche im Ozean massive Planktonblüten, wodurch die Idee entstand, Phytoplankton als CO₂-Binder im Kampf gegen die Klimaerwärmung einzusetzen. Aquaristiker sind interessiert, das Plankton als Futter möglichst schnell wachsen zu lassen. Ausserdem gibt es Versuche, aus Algen Biotreibstoffe herzustellen.

1 Einleitung

Phytoplankton ist die Basis der marinen Nahrungskette (Allsopp et al. 2007, 2) und Ursprung von ungefähr der Hälfte der globalen Primärproduktion. 45 % der globalen Kohlenstoffbindung hängt von Photosynthese in Gewässern ab (Reynolds 2006, 144).

Seit langem versuchen Wissenschaftler, die unerwartet kleine Menge an Phytoplankton in den sogenannten HNLC (High Nutrient Low Chlorophyll)-Regionen unserer Ozeane zu erklären. Diese Regionen zeichnen sich durch einen hohen Nährstoff-, aber tiefen Phytoplanktongehalt aus. (Allsopp et al. 2007, 6). Sie machen etwa 20 % der Ozeanflächen aus (Mankin 1996). Lokalisiert sind sie vorwiegend im nordöstlichen und äquatorialen Pazifik sowie im Südpolarmeer (Bruland & Wells 1995, 1). Während die Nitratkonzentration höher als 2 mM (millimolaritäten; die Molarität (M) beschreibt eine Konzentration eines Stoffes; 1 M ist gleich 1 mol (ca. $6.022 \cdot 10^{23}$ Teilchen) pro Liter; 1 mM = 0.001 mol/L; 1 nM = 10^{-9} mol/L) liegt, enthält jeder Liter Wasser weniger als 0.2 µg Chlorophyll a (Coale 2001, 3). Das heisst, dass trotz vieler Nährstoffe nur wenig Phytoplankton im Wasser vorhanden ist. Die natürliche Eisenkonzentration von 0.1 nM (nanomolaritäten; s. oben) ist zu tief, um mehr autotrophes Leben zu ermöglichen (Reynolds 2006, 170).

Eisen ist das wichtigste Spurenelement in Algenzellen (*Reynolds* 2006, 170). Es spielt eine entscheidende Rolle im Metabolismus der Pflanzen. Dort wird es, unter anderem, für den photosynthetischen und respiratorischen Elektronentransport, die Nitratreduktion und die Synthese von Chlorophyll gebraucht (*Sunda & Huntsman* 1995, 189). Die photosynthetische Kohlenstoff- und Nitratreduktion sind die zwei energieintensivsten Prozesse in der Zelle, und beide benötigen eisenhaltige Komponenten (*Reynolds* 2006, 168). Dabei hat die photosynthetische Elektronen-transportkette den grössten Eisenbedarf (*Sunda & Huntsman* 1995, 202).

Um von Nitrat zu den reduzierten Formen von Stickstoff zu gelangen, die in Aminosäuren vorhanden sind, müssen fünf Oxidationszustände überwunden werden. Diese Redox-Reaktion braucht Energie, die durch Photosynthese und Nitratreduktase – ein eisenhaltiges Enzym – bereitgestellt wird. Ohne Eisen ist eine effiziente Aufnahme des Grundnährstoffs Nitrat unmöglich. Wenn Eisenmangel künstlich behoben wird, nimmt die Nitraufnahme zu (*Coale* 2001, 7).

Zellen mit Eisenmangel zeigen folgende Symptome: reduzierte Mengen an Cytochrom-f, Blockierung der Chlorophyllsynthese sowie eine geschädigte Struktur der Thylakoidmembranen. Deshalb können Zellen mit Eisenmangel weniger Photonen aufnehmen und deren Energie weniger effizient nutzen. Damit kann weniger Kohlenstoff fixiert werden. In Kombination führen diese Faktoren dazu, dass das Wachstumspotential der Zelle verkleinert wird. Der langsamste anabolische Prozess limitiert die Wachstumsrate (*Reynolds* 2006, 168).

Bei der Aufnahme von Eisen in eine Zelle wird ein sehr grosser Konzentrationsunterschied überwunden. Deshalb verbraucht die Aufnahme Energie (*Reynolds* 2006, 169). Da Fe^{3+} -Hydroxide nicht wasserlöslich sind (*Sunda & Huntsman* 1995, 189), braucht es Chelatliganden (bilden besonders stabile Komplexe mit Kationen wie z. B. Fe^{3+}), um das Eisen im Wasser zu lösen. Die Algen nehmen das Eisen durch Ligandenaustausch auf (*Reynolds* 2006, 168).

Das erste Eisenanreicherungsexperiment zum Wachstum von Phytoplankton wurde von *Martin* et al. (1989) durchgeführt. Flaschen wurden mit Wasser aus HNLC-Regionen gefüllt, einigen wurde Eisen beigelegt. Da das Eisen zu einem vermehrtem Wachstum führte, stellten *Martin* et al. (1989) die Hypothese auf, dass Eisen ein Mikronährstoff ist, der die Produktion und Biomasse von Phytoplankton in HNLC-Regionen limitiert (*Takeda & Obata* 1995, 219). Diese Hypothese wurde mit mehreren Experimenten in Flaschen bestätigt. Zusätzlich wurden seit 1993 zwölf grosse Feldstudien durchgeführt, bei denen Eisen dem Meer beigelegt wurde. Bei den meisten Studien führte Eisendüngung zu starkem Wachstum des Planktons, aber nicht bei allen (*Rademacher* 2007).

Die zum Teil massiven Algenblüten, die durch Eisendüngung hervorgerufen wurden, führten zur umstrittenen Idee, dass mittels Eisendüngung grosse Mengen an CO_2 im Meer gebunden werden könnten. Dies wäre derart wirksam, dass die CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre reduziert werden kann (*Bruland & Wells* 1995, 1).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Effekt der Eisenkonzentration auf das Wachstum des Phytoplanktons im Labor festzustellen. Zudem sollte ein Beitrag zum Thema der Eisenlimitierung zum aktuellen Wissensstand hinzugefügt werden. Die in dieser Arbeit verwendete Alge *Nannochloropsis occulata* (auch: *Nannochloris ocelata*) ist eine marine, grün pigmentierte und einzellige Alge (*Reynolds* 2006, 7).

2 Methode

Die abhängigen Variablen waren einerseits die Populationsdichte von *Nannochloropsis oculata* (in Zellen pro mm³) und andererseits die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit der Populationen (in %). Die unabhängige Variable war die Fe³⁺-Konzentration in der Form von FeCl₃. Diese Konzentrationen waren: 0 nM, 5.6 nM, 67.5 nM, 505 nM und 5'047 nM.

Zudem wurden folgende Variablen kontrolliert: Konzentration der Grundnährstoffe, Temperatur des Mediums, Volumen des Mediums, Salinität des Mediums, pH-Wert, Lichtintensität, Rührgeschwindigkeit (Magnetrührer).

Zehn Anfangspopulationen von *Nannochloropsis oculata* erhielten die gleichen Grundnährstoffe, aber es wurden fünf unterschiedliche Mengen an FeCl₃ beigefügt. Zwei Populationen pro Konzentration ergaben also zwei Wiederholungen pro Reihe. Die Populationen wurden unter Aquaristiklicht, bei 26–31 °C und unter konstantem Umrühren während sechs Tagen kultiviert (Abb. 1).



Abb. 1 Das Bild zeigt fünf der zehn Versuchskolben während der Kultivierung (Versuchsanordnung). Im mittleren Kolben ist einer der zwei Temperatursensoren zu sehen.

Foto: Hugo Braun

Die Populationen wurden nach 5 h sowie alle 24 h direkt mittels Hämocytometer (Abb. 2) und indirekt mittels Kolorimeter (Lichtdurchlässigkeit) gemessen. Parallel dazu wurden auch die Kontrollvariablen gemessen (Abb. 1).

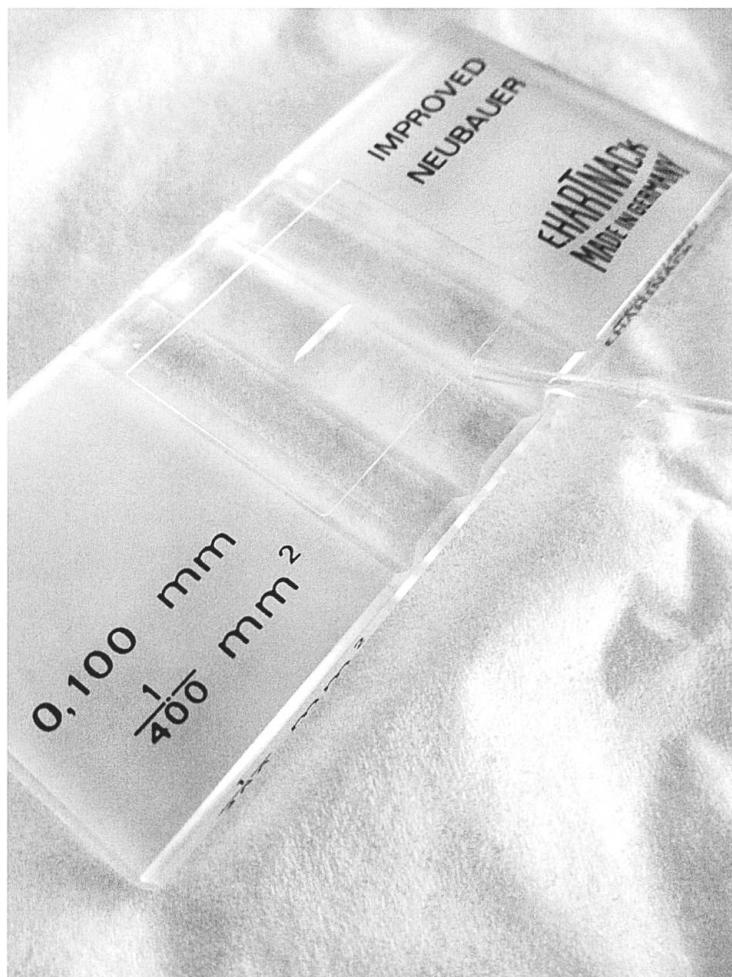


Abb. 2 Auf dem Foto ist eine Neubauer Zählplatte zu sehen. Mittig liegt ein Gitternetz, mit dessen Hilfe unter dem Mikroskop die Planktonzellen gezählt wurden. Die Aufnahme zeigt auch, wie mittels einer Pipette eine Probe aus einem Versuchskolben in die Zählkammer gegeben wird. Foto: Hugo Braun

3 Resultate

Die Population von *Nannochloropsis oculata* nahm im Generellen zu. Ab 96 h Versuchszeit war das Populationswachstum sehr langsam, nicht vorhanden oder sogar negativ. Die Population wuchs schneller mit höheren Eisenkonzentrationen (bis 505 nM). Die höchste Konzentration (5'047 nM) führte hingegen nicht zu besserem Wachstum. Wenn der Endstand nach 144 h betrachtet wird, ist ersichtlich, dass Konzentrationen von mehr als 67.5 nM das Wachstum auf lange Zeit nicht mehr erhöhen (Abb. 3).

Bei der indirekten Messmethode nahm die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit ab. Jedoch war kaum eine Beziehung zwischen Eisenkonzentration und Lichtdurchlässigkeit erkennbar. Die Populationsdichte und die Lichtdurchlässigkeit zeigen eine lineare Korrelation (Abb. 4).

Die Temperatur schwankte im Tag-Nacht-Rhythmus. Die Durchschnittstemperatur betrug 28.6 °C. Die tiefste gemessene Temperatur lag bei 25.8 °C, die höchste bei 31.3 °C.

Bei der Lichtintensität zeigten die Messungen eine konstante und für die Versuchskolben gleichmässige Verteilung. Der pH-Wert stieg in allen Kolben innert 40 h von etwa pH 8 auf pH 9.5, danach sank er auf etwa pH 8.5. Es gab kaum Unterschiede zwischen den Versuchsreihen. Die Salinität lag zwischen 34.4 und 35.6 ppT und nahm allgemein eher zu.

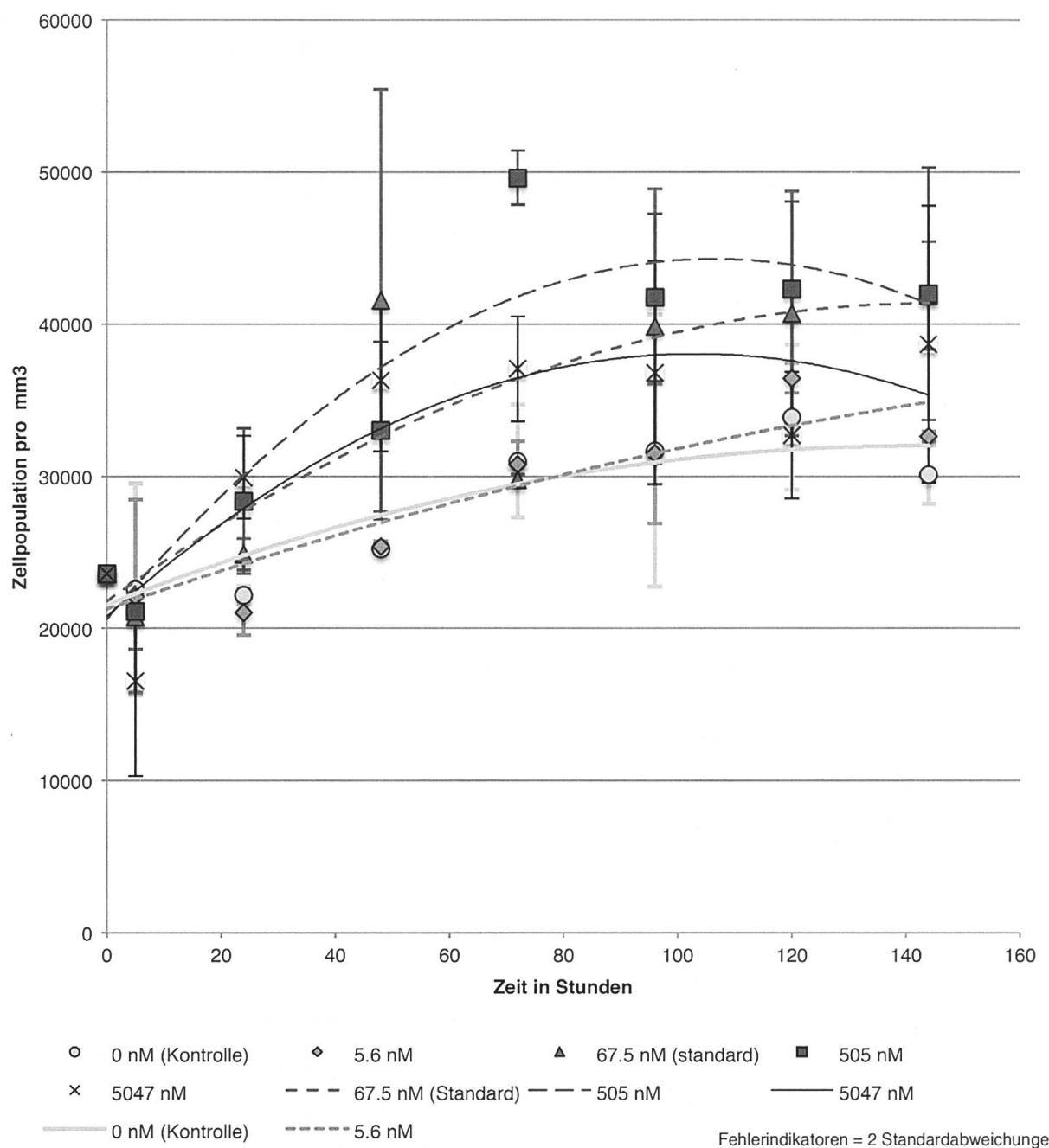


Abb. 3 Die Grafik zeigt das Populationswachstum von *Nannochloropsis occulata* über 144 h in Zellen pro mm^3 . Die Populationen wurden zum Zeitpunkt 0 mit fünf verschiedenen Eisenkonzentrationen versetzt, deren Effekt durch die fünf Kurven dargestellt wird.

Grafik: Hugo Braun

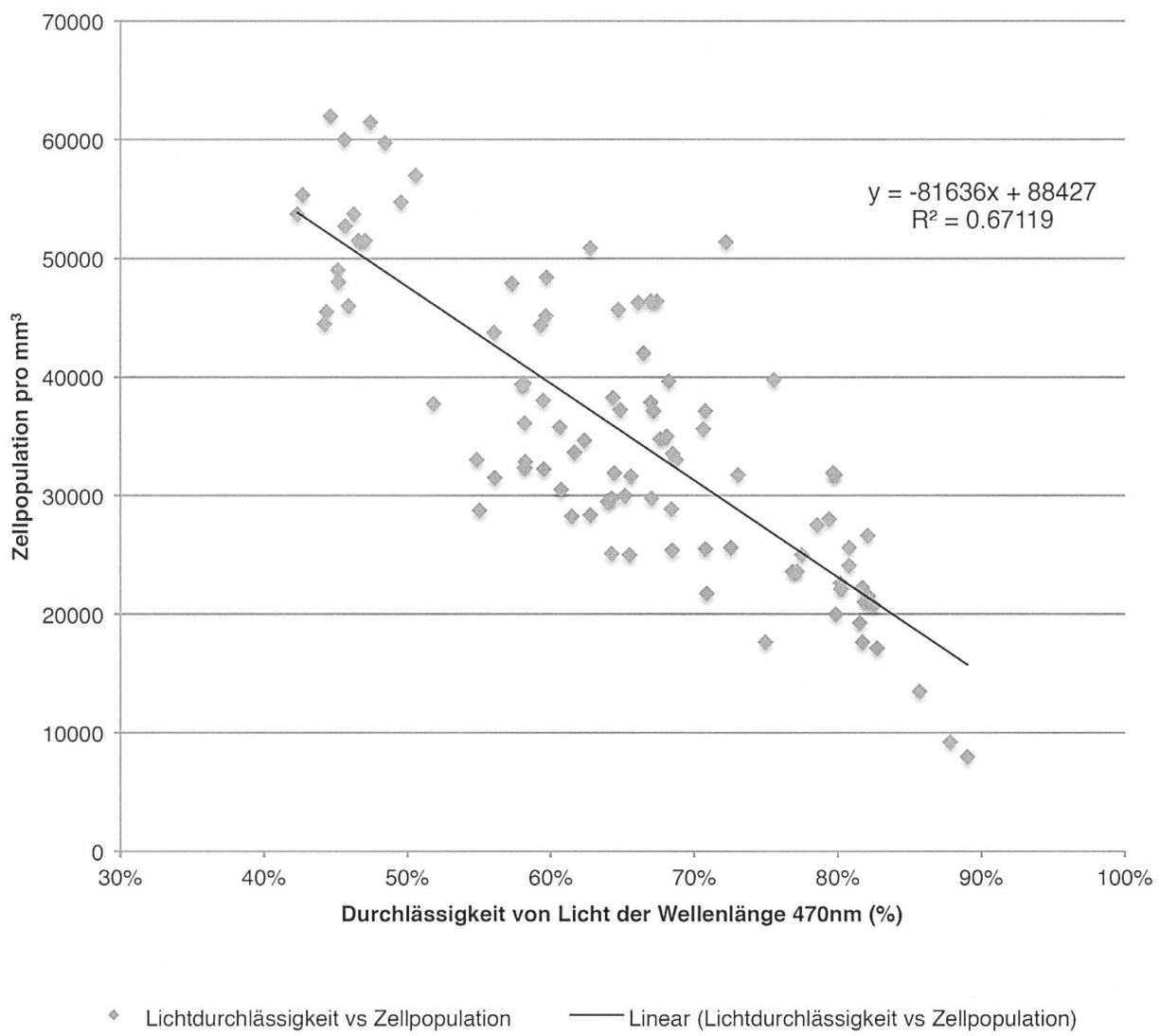


Abb. 4 Die Grafik zeigt die Korrelation zwischen der Population von *Nannochloropsis occulata* in Zellen pro mm³ und der Lichtdurchlässigkeit in % von Licht mit der Wellenlänge 470 nm. Die Regressionsgleichung lautet $y = -81636 \cdot x + 88427$, wenn die Lichtdurchlässigkeit (x) als Dezimalzahl zwischen 0 und 1 eingesetzt wird. Der lineare Korrelationskoeffizient R^2 beträgt ungefähr 0.67. *Grafik: Hugo Braun*

4 Diskussion

Die Resultate zeigen, dass höhere Eisenkonzentrationen ein stärkeres Wachstum von *Nannochloropsis occulata* verursachten (Abb. 3). Diese Erkenntnis folgt der anerkannten Theorie, die die Wichtigkeit von Eisen für die Photosynthese und andere Zellprozesse betont. Bis zu 505 nM korrelieren höhere Eisenkonzentrationen mit erhöhter Wachstumsrate.

Während der ersten fünf Stunden des Experiments sank die Populationsdichte in allen Versuchskolben (Abb. 3). Da sich die Zellen zuerst an die neue chemische Umgebung gewöhnen müssen, kann es zu einer Verkleinerung der Population kommen, was als sog. "lag phase" bekannt ist. Außerdem könnte der Temperaturschock der ersten Stunden von 22 auf 28 °C zum Tod einiger Zellen geführt haben. Zwischen 24 und 72 h nahm die Population in allen Versuchsreihen zu. Dies

wird exponentielle Phase genannt. Die letzten drei Messungen zeigten nur wenig Wachstum oder sogar eine Abnahme der Population. Diese Phase wird stationäre Phase genannt, einige der Nährstoffe im Medium wurden wahrscheinlich aufgebraucht (Reynolds 2006, 183).

Die Wachstumskurven der Kontrolle und der 5.6 nM-Reihe sind beinahe identisch. Daraus lässt sich schliessen, dass die Wachstumsunterschiede zu den Reihen mit höheren Eisenkonzentrationen wahrscheinlich durch die unterschiedlichen Eisenkonzentrationen verursacht wurden. Während der letzten drei Tage zeigt die 5.6 nM-Kurve etwas mehr Wachstum als die Kontrolle, da die Kontrolle alles Eisen aufgebraucht haben könnte, das vor dem Experiment vorhanden war.

Wegen der signifikant höheren Temperaturen in den Versuchskolben im Vergleich zum Ozean wuchs das Phytoplankton schneller und brauchte somit das verfügbare Eisen auch schneller auf als im Meer. Die relativ kleinen Volumen der Kolben (300 ml) vereinfachten Temperaturwechsel, boten aber auch wenig Platz und Nährstoffe.

Die 505 nM-Reihe wuchs am schnellsten. Die Population verdoppelte sich innerhalb von 72 h. Danach nahm sie ab und pendelte sich bei etwa 42'000 Zellen pro mm³ ein. Wahrscheinlich brauchte das Phytoplankton das Eisen, Nitrat oder einen anderen wachstumsrelevanten Nährstoff auf.

Die 67.5 nM-Reihe wuchs langsamer aber beständiger. Allerdings muss, aufgrund der signifikanten Standardabweichung bei der 48 h-Messung, die Verlässlichkeit dieser Kurve infrage gestellt werden.

Die höchste Eisenkonzentration (5'047 nM) führte zu der instabilsten Wachstumskurve. Die anfängliche Abnahme lässt sich mit der radikalsten Änderung der chemischen Umgebung erklären. Ab 48 h nahm die Population nicht mehr zu. Ein anderer Nährstoff könnte aufgebraucht oder die hohe Eisenkonzentration giftig für die Zellen geworden sein. Das Wachstum gegen Ende wurde wahrscheinlich durch Messungenauigkeiten verursacht. Möglich ist auch, dass die 5'047 nM-Reihe als einzige noch Eisen verfügbar hatte.

Abbildung 3 zeigt teilweise grosse Standardabweichungen. Diese reduzieren die Verlässlichkeit der Kurven und zeigen, dass die Unterschiede zwischen den zwei Wiederholungen oft signifikant waren.

Obwohl die Salinität sich nicht gross veränderte, war sie dennoch um einiges weniger konstant als im Meer. Diese kleinen Veränderungen könnten das Wachstum beeinträchtigt haben. Die hohen Temperaturen und kleinen Volumen der Versuchskolben verstärkten den Effekt.

Die optimale Eisenkonzentration scheint zwischen 67.5 nM und 505 nM zu liegen. Wenn man jedoch nur die finalen Populationen nach 144 h anschaut, wird klar, dass höhere Eisenkonzentrationen als 67.5 nM das Wachstum langfristig nicht weiter erhöhen. Deshalb bestätigen die Messungen mit dem Hämocytometer, dass die Eisenkonzentration einen positiven Effekt auf das Populationswachstum von *Nannochloropsis oculata* hat, und zwar bis zu einer Konzentration von etwa 67.5 nM.

Die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit der Populationen nahm im Generellen mit der Zeit ab. Die Lichtdurchlässigkeit aller Reihen nahm in den ersten fünf Stunden zu, als Reaktion auf die neuartigen chemischen Bedingungen nahm also die Population leicht ab. Die anschliessende Abnahme der Lichtdurchlässigkeit stimmt überein mit einer Populationszunahme, die mittels Hämocytometer gemessen wurde. Dieses Verhalten der Lichtdurchlässigkeit ist logisch: Je mehr Zellen im Versuchskolben sind, desto weniger Licht wird hindurchgelassen.

Allerdings zeigen die Daten keinen klaren Effekt der Eisenkonzentration auf die Lichtdurchlässigkeit. Die Lichtdurchlässigkeit nimmt bis 67.5 nM mit der Eisenkonzentration zu, was der Populationszunahme widerspricht. Die Daten der Hämocytometer-Messungen zeigen einen grösseren Effekt und sind zuverlässiger.

Die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit nimmt mit zunehmender Populationsdichte im Bereich 10'000 bis 60'000 Zellen pro mm³ linear ab (Abb. 4). Die Population erklärt 67 % der Veränderungen in der Lichtdurchlässigkeit. Deshalb kann die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit als indirekte Methode verwendet werden, um schnell eine Schätzung der Population von *Nannochloropsis oculata* zu erhalten. Dafür wird die Regressionsgleichung in Abb. 4 verwendet. Obwohl der Korrelationskoeffizient relativ hoch ist, sind die Datenpunkte eher verstreut. 75 % Durchlässigkeit stand einmal für eine Population von 50'000 Zellen pro mm³, ein anderes Mal für etwa 20'000 Zellen pro mm³. Deshalb kann die 470 nm-Lichtdurchlässigkeit nur für grobe Schätzungen der Population verwendet werden. In der Literatur ist die gleiche Folgerung zu finden: Es gibt keinen Ersatz für das direkte Zählen der Zellen (Reynolds 2006, 179).

Wenn die Resultate mit anderen Experimenten verglichen werden, kommt die Vermutung auf, dass die Wachstumsrate in diesem Experiment nicht nur durch Eisen limitiert wurde. Die meisten Feldexperimente im Meer wurden mit tieferen Eisenkonzentrationen durchgeführt, beispielsweise einer Konzentration von nur 2 nM (Mankin 1996). Chlorophyll A, ein Index für die Biomasse (Reynolds 2006, 31), versiebzehnfachte sich binnen acht Tagen (Cochlan 2001, 432).

Die Reaktion auf das Eisen war in diesem Experiment sehr viel kleiner, vergleichbar mit . Da die Konzentrationen in diesem Experiment um ein Vielfaches höher sind als jene der meisten Feldstudien, scheint das Wachstum nicht nur durch das Eisen limitiert worden zu sein. Das CO₂ könnte zum kolimitierenden Faktor geworden sein. Innert 24 h stieg der pH-Wert in allen Kolben auf etwa 9.5. Die photosynthetische Aufnahme von CO₂ erhöht den pH-Wert (Reynolds 2006, 125). Wenn der pH-Wert 8 übertroffen wird, ist die CO₂-Konzentration normalerweise tief und könnte das Wachstum von Phytoplankton limitieren (Reynolds 2006, 130f).

Dieser Effekt könnte erklären, was nach 96 h passiert (Abb. 3): CO₂ könnte im Medium aufgebraucht worden sein, wodurch die Algen nicht mehr wachsen konnten. Andernfalls oder zusätzlich könnte ein anderer Nährstoff als Eisen aufgebraucht worden sein.

Falls weder CO₂ noch andere Nährstoffe limitierend waren, könnte es sein, dass die hohe Temperatur in diesem Experiment die Unterschiede zu den anderen Studien auslöst. Auch könnten andere Arten als *Nannochloropsis oculata* das massive Wachstum in einigen anderen Experimenten ausgelöst haben, da jene die Reaktion des Phytoplanktons als Gemeinschaft untersuchten.

Es wurden keine Vergleichsstudien spezifisch zu *Nannochloropsis oculata* gefunden. Deshalb kann angenommen werden, dass diese Arbeit eine der ersten ist, die die Reaktion von *Nannochloropsis oculata* auf erhöhte Eisenkonzentrationen untersucht.

5 Diskussion der Methode

Die Resultate könnten aus folgenden Gründen unzuverlässig sein:

- Nur zehn Magnetrührer waren verfügbar. Deshalb waren nur fünf Reihen und zwei Wiederholungen pro Reihe möglich. Dies führte zu hohen Standardabweichungen, und nur eine Trendaussage war möglich. Mehr Reihen, v. a. in der Nähe der optimalen Konzentration, und mehr Wiederholungen könnten die Relevanz der Resultate erhöhen.
- Die Temperatur des Mediums war instabil und erreichte bis zu 31.6 °C. Das ist mehr als im Ozean und könnte höher als die Idealtemperatur für die Spezies sein. Die meisten Arten von Phytoplankton erreichen ihr höchstes Wachstum zwischen 25 und 35 °C. Steigt die Temperatur über das Optimum, sinkt die Wachstumsrate (Reynolds 2006, 186). Diesem Problem könnte mit einem temperatur-kontrollierten Wasserbad Abhilfe geschafft werden.

- Des Weiteren ist die Menge Eisen, die vor der Eisenbeigabe im Medium war, unbekannt. Deshalb könnten die realen Eisenkonzentrationen von den Angaben abweichen. Ein Versuch, die Konzentration während des Pilotexperiments zu bestimmen, scheiterte. Um die unbekannte Eisenmenge zu reduzieren, könnten eisenfreies Meersalz und Plastikgefässe statt Glasgefässe verwendet werden.
- Außerdem könnte die Messmethode die Resultate beeinflusst haben. Für beide Messungen wurden jeweils mit der Pipette Proben genommen. Allerdings könnten die Proben nicht die durchschnittliche Zellendichte des Versuchskolbens enthalten haben (z. B. könnten sich Zellen am Boden gesammelt haben). Diese Fehlerquelle könnte minimiert werden, wenn mehrere Proben pro Kolben genommen würden.
- Als die Zellen unter dem Mikroskop gezählt wurden, wurden sowohl lebende als auch tote Zellen gezählt. Um nur die lebenden Zellen zu zählen, könnte eine Farbe beigegeben werden, die nur von den lebenden Zellen aufgenommen wird.

6 Potenzielle Anwendungen

45 % der globalen CO₂-Bindung hängt von Photosynthese im Wasser ab (Reynolds 2006, 144). Um den Klimawandel zu verstehen, ist es wichtig, die Faktoren, die die CO₂-Bindung limitieren, zu erforschen (Coale et al. 1996, 495). Eisen per Schiff oder durch automatische Bojen dem Meer beizufügen, könnte das Wachstum des Phytoplanktons derart anregen, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre abnimmt (Bruland & Wells 1995, 1). Jedoch bleibt ein solcher Eingriff in die Natur umstritten. Befürworter behaupten, dass neben der Bindung von CO₂ die Nahrungskette im Meer von unten aufgefüllt und die sterbende Fischindustrie wiederbelebt werden könnte (⊕₂). Kritiker betonen verschiedene Faktoren, die die CO₂-Bindung verhindern könnten, sowie zahllose Unsicherheiten, wie z. B. die Gefahr einer starken Reduzierung der Biodiversität (Allsopp et al. 2007, 3).

Die vorliegende Arbeit kann nicht auf den Ozean übertragen werden, da sie im Labor durchgeführt wurde. Der nächste Schritt wäre, weitere abiotische Faktoren in einem Speziallabor zu bestimmen, bevor kleine Feldstudien durchgeführt würden.

Die Arbeit hat die Nährstoffmixtur, die von Aquaristikern zur Zucht von *Nannochloropsis oculata* verwendet wird, verifiziert. Die normal gebrauchte Eisenkonzentration ist optimal. Mehr Eisen als 67.5 nM bringt nicht noch mehr Wachstum, zumindest wenn andere Faktoren (Temperatur, Licht etc.) unter oder über ihrem jeweiligen Optimalwert sind.

Eine weitere interessante Anwendungsmöglichkeit mit geographischem Hintergrund könnte die Produktion von Biotreibstoffen mit Phytoplankton sein. Der Vorteil von solchen Treibstoffen wäre, dass weder Nahrung noch Land für deren Produktion gebraucht würden (Ireland 2014, 21–22). Die Arbeit könnte zu diesen Versuchen beitragen, da sie die chemischen Voraussetzungen für optimales Algenwachstum untersuchte: Die Eisenkonzentration hat einen positiven Einfluss auf das Wachstum von *Nannochloropsis oculata*.

Literatur

- Allsopp M., Santillo D. & Johnston P. 2007. *A scientific critique of oceanic iron fertilization as a climate change mitigation strategy*. Greenpeace Research Laboratories Technical Note, 1–32. Online verfügbar: www.greenpeace.to/greenpeace/?p=721 [Eingesehen am 13.9.2014]
- Bruland K.W. & Wells M.L. 1995. Introduction. *Marine Chemistry* 50: 1–2.
- Coale K. 2001. *Open Ocean Fertilization for Scientific Study and Carbon Sequestration*. Moss Landing Marine Laboratories. Online verfügbar: www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/6b1.pdf. [Eingesehen am 28.7.2014]
- Coale K.H., Johnson K.S., Fitzwater S.E., Gordon R.M., Tanner S., Chavez F.P., Ferioli L., Sakamoto C., Rogers P., Millero F., Steinberg P., Nightingale P., Cooper D., Cochlan W.P., Landry M.R., Constantinou J., Rollwagen G., Trasvina A. & Kudela R. 1996. A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. *Nature* 383: 495–501.
- Cochlan W.P. 2001. The heterotrophic bacterial response during a mesoscale iron enrichment experiment (IronEX II) in the eastern equatorial Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 46(2): 428–435.
- Ireland T. 2014. Algal Biofuel – in bloom or dead in the water? *The Biologist* 61: 20–23.
- Mankin E. 1996. *The Geritol Effect*. University of Southern California News 21.10.1996. Online verfügbar: <http://news.usc.edu/12679/The-Geritol-Effect/> [Eingesehen am 5.5.2014]
- Martin J.H., Gordon R.M., Fitzwater S. & Broenkow W.W. 1989. Vertex: phytoplankton/iron studies in the Gulf of Alaska. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 36: 649–680.
- Rademacher H. 2007. *Eisen gegen den Klimawandel?* Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 30. Mai 2007. Online verfügbar: www.faz.net/aktuell/wissen/klima/weltmeere-eisen-gegen-den-klimawandel-1434931.html [Eingesehen am 22.2.2014]
- Reynolds C.S. 2006. *Ecology of phytoplankton*. Cambridge, 1–552.
- Sunda W.G. & Huntsman S.A. 1995. Iron uptake and growth limitation in oceanic and coastal phytoplankton. *Marine Chemistry* 50: 189–206.
- Takeda S. & Obata H. 1995. Response of equatorial Pacific phytoplankton to subnanomolar Fe enrichment. *Marine Chemistry* 50: 219–227.

Internetquellen

- ① <http://web.mit.edu/effects/www/julz/IronFertilization.html>
- ② <http://nancho.net/planktos/model.htm>