



## Schriftliche Arbeit

Thema: Folgen der hohen CO<sub>2</sub> -Konzentration für Algenpopulationen

Verfasser: Laura Staschko

Klassenstufe: 11

Betreuer: Dr. Katherina Schoo

Schule: Carl-Friedrich-Gauß-Gymnasium

Friedrich-Ebert-Str. 52

15234 Frankfurt (Oder)

## Gliederung:

1. Einleitung
2. Projektinformationen
3. Material und Methode
  1. Artenbeschreibung
  2. Experiment 1: Einfluss von Unterschiedlichen CO<sub>2</sub> Konzentrationen
  3. Experiment 2: Änderungen in Stöchiometrie und Wachstum der Alge im Tag-Nacht Rhythmus
  4. Experimentell Prüfbar Folgerungen
4. Ergebnisse
  1. Experiment 1: Einfluss von Unterschiedlichen CO<sub>2</sub> Konzentrationen
  2. Experiment 2: Änderungen in Stöchiometrie und Wachstum der Alge im Tag-Nacht Rhythmus
5. Diskussion
6. Fazit/Rückblick
7. Anhang

## 1. Einleitung

Schon seit Jahren interessiere ich mich für Biologie und nehme an verschiedenen Wettbewerben teil. Im letzten Jahr nahm ich zum ersten mal an der IBO teil und schaffte es bis in die 3. Runde. Durch den Förderverein der IBO wurde mir dann dieses Praktikum verliehen. Das Praktikum fand am Alfred-Wegener Institut auf Helgoland statt. „Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung erforscht seit mehr als 25 Jahren die Zusammenhänge des weltweiten Klimas und der speziellen Ökosysteme im Meer und an Land.“ [Zitat: <http://www.awi.de/de/institut/> 06.10.2011; 15:56]. Meine Arbeitsgruppe beschäftigte sich mit Ozeanversauerung und den Auswirkungen des sinkenden pH-Wertes auf das Ökosystem Meer.

Seit der industriellen Revolution im 19. Jahrhundert wurden 440 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre entlassen. Die Hälfte dieses „eingelagerten“ CO<sub>2</sub> wurde allein in den letzten 30 Jahren frei. Durch diese enorme Menge an zusätzlichem CO<sub>2</sub> in der Luft wurde der Treibhauseffekt verstärkt und das Klima des Planeten verlor seine Stabilität. Mehr als die Hälfte des freigewordenen CO<sub>2</sub> haben die Pflanzen und Ozeane aufgenommen. Somit wurden die Ausmaße des Klimawandels gedämpft. Aber nicht ganz folgenlos für die Ozeane. Bei der Lösung von CO<sub>2</sub> laufen verschiedene chemische Prozesse ab die als Ozeanversauerung oder auch „Das andere CO<sub>2</sub> Problem“ zusammen gefasst werden können.

Durch den sinkenden pH-Wert des Meeres wird es für Organismen mit Kalkschalen immer schwerer diese zu bilden oder vor der Auflösung zu schützen. Die Ozeanversauerung stellt also eine Gefahr für alle Organismen mit kalkhaltigen Schalen dar.

Die andere Seite der Ozeanversauerung ist natürlich auch das Mehrangebot an CO<sub>2</sub> für die Fotosynthese von Algen und Pflanzen.

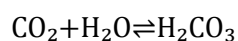
Wie wirkt sich dieses Überangebot an CO<sub>2</sub> auf Algenkulturen aus? Wird ihre Population wachsen oder sinken? Ändert sich das stöchiometrische Verhältnis der Zellen? Weicht das Wachstum bei experimentellen Bedingungen von denen im Tag-Nacht-Rhythmus ab?

Dies versuchte ich während meines Praktikums herauszufinden. In verschiedenen Experimenten untersuchte ich die Auswirkungen unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, Änderungen von Stöchiometrie und Wachstum der Alge im Tag-Nacht Rhythmus.

## 2. Projektinformationen

Durch den fortschreitenden Klimawandel steigt die CO<sub>2</sub>-Konzentration nicht nur in der Luft sondern auch im Meer. Durch dieses Mehrangebot an CO<sub>2</sub> sinkt der pH-Wert.

Der meiste anorganische Kohlenstoff der Ozeane liegt in Hydrogencarbonationen vor (91%). Ein kleiner Teil jedoch wird reversibel zu Kohlensäure hydratisiert:



Diese dissoziiert zu Bikarbonat und Wasserstoffionen:



Es werden also Protonen ( $\text{H}^+$ ) frei, deren negativer dekadischer Logarithmus auch als pH-Wert

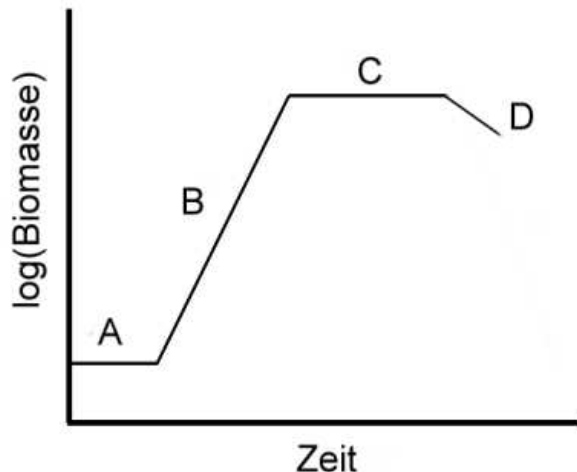
bekannt ist. Das bedeutet also umso mehr  $\text{H}^+$  durch die Bindung von  $\text{CO}_2$  entsteht umso kleiner wird

der pH-Wert. Diese Prozesse werden als Ozeanversauerung bezeichnet.

Ich habe mich in meinem Praktikum aber nicht mit den Auswirkungen des sinkenden pH-Wertes beschäftigt, sondern mit den Folgen der hohen  $\text{CO}_2$ -Konzentration für Algenpopulationen.

Meine Arbeit lässt sich also grob in das Gebiet der Ökologie einordnen. Spezieller auf Wachstum von Populationen und limitierende Faktoren.

Das Wachstum von Algenpopulationen hängt



von der Verfügbarkeit von Nährstoffen, Licht und störenden Stoffwechselprodukten ab. Einzellige Algen zeigen das typische Wachstumsverhalten von Einzellern. Nach einer sogenannten lag-Phase in der sich die Zelle an die Umweltbedingungen gewöhnt tritt das exponentielle Wachstum ein. Diese Phase wird auch log-Phase genannt. In dieser Phase stehen alle benötigten Nährstoffe in ausreichender Menge zur Verfügung. Wenn einer der Nährstoffe nur noch limitiert vorliegt geht die Population in die stationäre Phase über. Die Zahl der Zellen bleibt konstant Absterberate und

Wachstumsrate sind also gleich groß. Überwiegt die Absterberate geht die Population in die Absterbephase über.

Während meines Praktikums beschäftigte ich mich noch etwas ausführlicher mit limitierenden Nährstoffen. Als solch kommen für Algen besonders Stickstoff (N) und Phosphor (P) infrage. Das Wachstum von Populationen wird durch den im Verhältnis am wenigsten vorhandenen Nährstoff eingeschränkt (Liebig's Prinzip des Minimums).

Bei unbegrenzter Nährstoffzufuhr benötigt Phytoplankton pro 1 Mol Phosphor, 16 Mol Stickstoff und 106 Mol Kohlenstoff. Dies wird als die sogenannte Redfield ratio bezeichnet (1:16:106).

Phosphor übernimmt in Zellen eine wichtige Aufgabe. Die Umwandlung, Speicherung und Verwertung von Energie erfolgt über Synthese und Abbau von ATP deren Bestandteil auch Phosphate sind. Weiterhin ist Phosphor ein Bestandteil der DNA und RNA, dient also auch der Weitergabe genetischer Informationen.

Stickstoff als Bestandteil von Aminosäuren ist grundlegend für den Aufbau von Proteinen Nucleinsäuren und Enzymen (als besondere Proteine).

Kohlenstoff als Grundbaustein aller Organischen Verbindungen ist unentbehrlich für jeden Organismus. Ohne Kohlenstoff wäre kein Leben möglich.



## 2. Material und Methode

### 2.1 Artenbeschreibung:

*Rhodomonas salina* :

Systematik:

Klasse: Cryptophyceae

Ordnung: Pyrenomonadales

Familie: Pyrenomonadaceae

Gattung: Rhodomonas

Art: Rhodomonas salina

Für *Rhodomonas salina* ist ein asymmetrischer, membranloser Körper typisch. Dieser ist mit feinen Periplasten versehen. Durch die zwei unterschiedlich langen Geißeln entsteht die für *Rhodomonas salina* typische Zellbewegung. An der Ventralseite des Körpers verläuft eine Längsfurche. Hier mündet auch der für Cryptomonaden typische Schlund der tief in das Zellinnere hineinreicht. Am vorderen Ende pulsiert die kontraktile Vakuole. Der Zellkern liegt im hinteren Drittel des Körpers. Er ist rund und mit einer Membran versehen.

*Rhodomonas salina* pflanzt sich durch Längsteilung fort. Eine geschlechtliche Fortpflanzung ist nicht bekannt.

## **2.2 Einfluss von unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen**

Um den Einfluss unterschiedlicher CO<sub>2</sub> Konzentrationen auf die Algen nachzuweisen wurden Batch-Kulturen in Glasflaschen mit 1L Fassungsvermögen angesetzt. Es wurden 3 unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gewählt: 200 ppm, 400 ppm und 800 ppm. Pro Konzentration wurden 3 Replikate angesetzt. Durch Label auf denen die Konzentration und die Nummer des Replikates vermerkt wurden konnte man die Flaschen eindeutig voneinander unterscheiden. Das Nährmedium wurde mit ca. 130.000 Zellen *Rhodomonas salina* angeimpft und kontinuierlich mit CO<sub>2</sub> versetzt. Die Zellen kamen aus einer Stammkultur der „Biologischen Anstalt Helgoland“.

Die Flaschen mit den Batch-Kulturen waren außer zu den Messungen durchgehend konstanter Beleuchtung und Temperatur ausgesetzt. Einmal täglich fanden die Messungen im Labor des Instituts statt.

### **3. Experiment: Änderungen in Stöchiometrie und Wachstum der Alge im Tag-Nacht Rhythmus**

Um den Tag-Nacht Rhythmus zu simulieren, wurden Leuchtstoffröhren an eine Zeitschaltuhr angeschlossen. Auch für dieses Experiment wurden wieder Batch-Kulturen angesetzt. Hier wurden drei Gruppen eingeteilt: Phosphat limitiert; Stickstoff limitiert und unlimitiert. Die Gruppen mit je drei Replikaten bekamen unterschiedliche Nährmedien zugeführt. Die CO<sub>2</sub> Konzentration 400ppm war bei allen Flaschen die gleiche. Die Kulturen wurden mit je ca. 200.000 Zellen *Rhodomonas salina* aus der Stammkultur angeimpft. Die Zeitschaltuhr wurde so eingestellt, dass um 9:30 Uhr der Tag beginnt und um 17:30 Uhr endet. Das Tag- Nacht Verhältnis betrug also 8h: 16h. Vor Tagesanbruch und vor Beginn der Nacht fanden die Messungen statt. Die Kulturen wurden ansonsten bei konstanter Temperatur und CO<sub>2</sub> Konzentration (400 ppm) gehalten.

### **4. Experimentell prüfbare Folgerungen**

Für einen späteren Vergleich mussten aussagekräftige und messbare Größen gefunden werden. Also wurde bei jeder Kultur die Dichte der Zellen gemessen. Um diese zu ermitteln wurde ein Cell Counter von CASY genutzt. Für die Analyse durch das Gerät wurden 0,1 ml der Kultur entnommen und mit 9,9

ml einer isotonischen Salzlösung vermischt. Das Röhrchen mit der Probe wurde dann in das Gerät gestellt.

Neben der Zelldichte wurde für Experiment 2 auch der mittlere Durchmesser und das mittlere Volumen (durch CASY) in einer Tabelle notiert. Diese Größen wurden ebenfalls von dem Gerät erfasst.

Aus der Zelldichte konnte mit folgender Formel die Wachstumsrate ermittelt werden:

$$\mu = \frac{\ln(\text{Zelldichte } t_2 / \text{Zelldichte } t_1)}{\Delta t}$$

Um die Stöchiometrie also das Verhältnis von C:N:P in der Zelle zu ermitteln mussten Filter gezogen werden (für Experiment 2)

Die Filter wurden auf eine Fritte gelegt, die an eine Pumpe angeschlossen war, die einen Unterdruck erzeugt. Auf die Fritte mit dem Filter stellte man dann eine Glasröhre die mit einer Klammer fixiert wurde. Die Probe wurde dann in die Glasröhre gegeben und durch die Pumpe wurde dann die Flüssigkeit abgesaugt, während die Zellen auf dem Filter blieben. Die fertigen Filter wurden dann getrocknet und mussten vor der Analyse durch ein Gerät des Instituts in Zinnfolie gerollt werden.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen musste sich auf allen Filtern etwa die gleiche Menge an Zellen befinden. Hier wurden 4.000.000 Zellen beabsichtigt. Da jedoch alle Kulturen eine unterschiedliche Dichte aufweisen, musste über diese das nötige Volumen berechnet werden, in dem sich ca. 4.000.000 Zellen befinden:

$$V = \frac{4000000}{\text{Zelldichte}}$$

Ergebnisse:

Durch das mehrmalige Messen ergaben sich zu viele Messergebnisse, um alle Ergebnisse an dieser Stelle aufzuführen. Eine Beispieltabelle (Abb. 9) befindet sich im Anhang bzw. sind die vollständigen Daten bei der Autorin einsehbar.

Experiment 1: Einfluss von unterschiedlichen CO<sub>2</sub> Konzentrationen

Zelldichte:

Die Dichte (Abbildung 1 siehe Anhang) der Kulturen zeigt im zeitlichen Verlauf des Experimentes eine typische Wachstumskurve. Doch sind Unterschiede zwischen den unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu erkennen. Die höchste Zelldichte erreichten die Kulturen mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 200 ppm. Die nächst höhere erreichten die Kulturen mit 800 ppm und die geringste erreichten die Kulturen mit 400 ppm.

Wachstumsrate:

Die Wachstumsraten der Kulturen (Abbildung 2 siehe Anhang) zeigten alle einen ähnlichen Verlauf. Bis zum 2. Tag nahm das Wachstum stark zu, anschließend begann es stetig abzusinken. Am 5. Tag begann bei 400 ppm und 800 ppm sogar das Absterben.

Experiment 2:

Zelldichte:

Die Zelldichte nahm während des Experimentes zu. Im Diagramm (Abbildung 3 siehe Anhang) zeigte sich ein treppenartiger Anstieg. Am Tage war die Dichte meist konstant und während der Nacht nahm sie zu. Dieses Verhalten konnte bei jeder der 3 Gruppen beobachtet werden. Dennoch unterschieden sie sich deutlich in der Höhe ihrer Dichte. Die niedrigste Dichte hatten die Stickstoff limitierten Kulturen, darauf folgten die Phosphor limitierten und die höchste Dichte hatten die unlimitierten Kulturen.

Wachstumsrate:

Die Wachstumsrate (Abbildung 4 siehe Anhang) wies eine zickzackartige Form auf. Tagsüber sank das Wachstum und nachts stieg es stark an. Die Wachstumsraten der Gruppen lagen eng beieinander.

Durchmesser und Volumen:

Durchmesser und Volumen der Zellen (Abbildung 5 siehe Anhang) verhielten sich ähnlich, da mit steigendem Zellvolumen auch der Durchmesser der Zelle größer werden muss. Auch hier verlief der Graph zickzackförmig. Nachts sanken Durchmesser und Volumen und am Tage nahmen sie zu. Doch unterschieden sich die Zellkulturen in ihrem Volumen und ihrem Durchmesser voneinander. Die Phosphor limitierten wiesen den größten Zelldurchmesser und das größte Volumen auf, das zweit größte Volumen und den zweit größten Durchmesser hatten die unlimitierten Kulturen. Den kleinsten Durchmesser und damit auch das kleinste Volumen hatten die Stickstofflimitierten Kulturen.



Stöchiometrie:

C:N:

Beim Verhältnis von Kohlenstoff und Stickstoff (Abbildung 6 siehe Anhang) verliefen die Graphen sehr unstat. Doch beim einzeichnen einer Trendlinie ließ sich ein Anstieg des Verhältnisses C:N erkennen. Das größte Kohlenstoff pro Stickstoff Verhältnis wiesen die Stickstofflimitierten Kulturen auf. Die Phosphor limitierten und unlimitierten Kulturen wiesen ein geringeres C:N Verhältnis auf, sie lagen eng beieinander.

C:P:

Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Phosphor (Abbildung 7 siehe Anhang) nahm auch bei allen Kulturen während des Experimentes zu. Wenn er auch bei den Stickstoff limitierten und den unlimitierten Kulturen kaum zu sehen ist, so ist der Anstieg bei den Phosphor limitierten Kulturen deutlich zu erkennen. Diese wiesen auch das höchste Kohlenstoff zu Stickstoff Verhältnis auf. Die Werte von Stickstoff limitierten und unlimitierten lagen dicht beieinander aber deutlich unter den Werten der Phosphorlimitierten.

N:P:

Das Diagramm des N:P Verhältnisses (Abbildung 8 siehe Anhang) ähnelt stark dem des C:P Verhältnisses. Auch hier steigt das Verhältnis von Stickstoff zu Phosphor während des Experimentes. Und auch hier wiesen die Phosphor limitierten Kulturen das höchste N:P Verhältnis auf. Stickstofflimitierte und unlimitierte Kulturen lagen auch hier wieder dicht beieinander und deutlich unter den Phosphor limitierten.

5.Diskussion:

Meine Experimente lieferten interessante Ergebnisse, aus denen sich einige Schlussfolgerungen ziehen lassen. Die Diagramme von Dichte und Wachstum lassen sich sehr gut miteinander vergleichen. Zu Beginn des Experimentes stiegen die Dichte und auch das Wachstum stark an. Als die Kulturen dann in die Stationäre-Phase übergingen war auch das Wachstum nicht mehr so stark. Wurde ein negatives Wachstum verzeichnet, nahm die Anzahl der Zellen also ab, konnte man von einem Absterben der Zellen ausgehen.

Die unterschiedlichen Dichten am Ende des ersten Experimentes weichen von den eigentlichen Erwartungen ab, da ich davon ausgegangen bin, dass die Kulturen mit 800 ppm die höchsten Dichten erreichen, da sie den meisten Kohlenstoff zur Verfügung hatten. Anschließend am schnellsten in die Absterbephase übergehen, weil mit einer hohen Dichte sich die Störfaktoren schneller bemerkbar

machen als bei einer Kultur mit einer weniger hohen Dichte. Auf dem zweiten Platz hätte ich die 400 ppm Kulturen platziert und auf Platz drei die 200 ppm aufgrund der abnehmenden Menge an Kohlenstoff.

Genauere Erklärungen für diese Abweichungen habe ich nicht gefunden, doch da die Dichten am Ende des Experimentes ziemlich dicht beieinander lagen ist nicht auszuschließen, dass es bei einer Wiederholung des Experimentes kein anders Ergebnis vorliegt.

Bei meinem zweiten Experiment habe ich mich besonders mit dem Tag –Nacht-Rhythmus auseinandergesetzt. Anhand meiner Diagramme lassen sich die Aktivitäten der Zelle sehr gut erkennen. Tagsüber also in der Lichtphase betreiben die Algenzellen Photosynthese. Sie bauen also Stoffe auf. Durch den Aufbau von Stoffen nehmen Volumen und Durchmesser der Zelle zu. Teilung findet am Tage kaum statt, da für die Mitose die Photosynthese ständig unterbrochen werden müsste. Nachts wenn kein Licht vorhanden ist werden die tagsüber gewonnenen Energiereserven verbraucht. Jetzt findet auch vermehrt Zellteilung statt. Durchmesser und Volumen der Zellen nehmen also ab während sich die Dichte erhöht. Während des Tages nahm die Anzahl der Zellen kaum zu. Das Wachstum muss also abnehmen. Über die Nacht hinweg stieg die Anzahl der Zellen. Das Wachstum wurde also größer.

Die Unterschiede in Durchmesser und Volumen entstehen durch den Nährstoffmangel der limitierten Kulturen. Phosphor limitierte Algen können nur noch wenige Nucleinsäuren und ATP bilden. Durch das Vorhandensein von ausreichend Stickstoff können Aminosäuren zum Bau von Proteinen verwendet werden. Doch durch den Mangel an Phosphor kann nur wenig RNA gebildet werden um aus den Aminosäuren Proteine zu bauen. Durch den Mangel an genetischen Informationen in Form von RNA stauen sich die Aminosäuren in der Zelle an und Volumen und Durchmesser werden größer. Genau umgekehrt verhält es sich mit den Stickstoff limitierten Zellen. Es ist genügend Phosphor verfügbar um RNA und ATP zu bilden aber kaum Stickstoff zur Bildung von Aminosäuren. Daher fällt hier das Volumen etwas kleiner aus als bei den unlimitierten Kulturen wo alle Nährstoffe ausreichend vorhanden sind.

Der Nährstoffmangel ließ sich auch durch die Stöchiometrie in den Zellen gut erkennen. Je größer das Verhältnis eines Stoffes A zu einem Stoff B umso weniger Mol des Stoffes B sind in der Zelle. Der Anstieg der stöchiometrischen Verhältnisse im Verlauf des Experimentes weist also auf eine Abnahme des jeweiligen Nährstoffes (der unter dem „Bruchstrich“ steht) während des Experimentes hin.

Beim C :N Verhältnis weisen also die Stickstoff limitierten Kulturen das höchste auf, da sie die geringste Stickstoffmenge in der Nährlösung hatten. Die anderen Kulturen liegen dagegen dicht beieinander und auch deutlich niedriger da ihnen ausreichend Stickstoff zur Verfügung steht.

Bei den anderen Stöchiometrischen Verhältnissen sieht es ähnlich aus. Die limitierten Kulturen weisen das höchste Verhältnis des Stoffes A zum limitierten Stoff B auf.

Die Senkung des Phosphor oder Stickstoff Gehaltes können mit einer Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes gleichgesetzt werden. Bei einer Erhöhung des  $\text{CO}_2$  Gehaltes im Meerwasser werden die Algenpopulationen nicht wie in Experiment 1 erwartet größer werden da dazu auch eine Erhöhung der anderen Nährstoffe nötig wäre. Vielmehr wird sie sich nur schwach erhöhen, da nach der Redfield ratio für 106 Mol Kohlenstoff mindestens 16 Mol Stickstoff und 1 Mol Phosphor benötigt wird. Als erstes wird ein Stickstoff Mangel eintreten, da für 106 Mol Kohlenstoff ganze 16 Mol Stickstoff benötigt werden aber nur 1 Mol Phosphor. Deshalb ist zu erwarten, das Stickstoffbindende Mikroorganismen (z.B. Cyanobakterien) als Gewinner aus der Ozeanversauerung hervorgehen, da sie direkt  $\text{N}_2$  aus der Luft binden können und nicht auf andere Stickstoffquellen wie Nitrat angewiesen sind, die nur in geringen Mengen in Gewässern vorkommen.

## 6. Fazit/Rückblick:

Das Praktikum am Alfred Wegener Institut hat mir sehr gut gefallen. Ich fand die Arbeit im Labor sehr spannend und hilfreich um seine praktischen Fähigkeiten (auch für die IBO) zu verbessern.

Desweiteren half es eine gewisse Routine im Umgang mit typischen Laborgeräten (z.B. kalibrierbaren Pipetten) zu bekommen. Auch in der Statistischen Auswertung von Daten konnte ich eine Menge dazulernen.

Wichtig für mich war auch zu sehen, dass wissenschaftliches Arbeiten mit vielen Wiederholungen und Messungen verbunden ist und man viel Hingabe und Sorgfalt benötigt um am Ende auch verlässliche Daten zu erhalten. Diese Eindrücke werden sich mit Sicherheit positiv auf meine Berufswahl auswirken.

Mit der Arbeitsgruppe in der ich gearbeitet hatte habe ich mich sehr gut verstanden. Sie waren alle sehr nett und es war auch immer jemand da den ich um Hilfe bitten konnte wenn es Probleme gab. Meine beiden Betreuer Prof. Maarten Boersma und Dr. Katherina Schoo standen mir immer mit Rat und Tat zur Seite, so dass ich mich während der gesamten Zeit meines Praktikums gut betreut fühlte.

Die Unterkunft war gut und die Insel bot mit ihren vielen Touristenattraktionen keine Zeit für Langeweile.

Insgesamt kann ich das Praktikum am Alfred-Wegener-Institut jedem empfehlen.

#### 7.Literaturverzeichnis:

Stoffwechselphysiologie der Pflanzen, Gerhard Richter; überarb. und erw. Auflage Stuttgart: Thieme 1981

Meeresbiologie, Ulrich Sommer; 2. Auflage Berlin Heidelberg: Springerverlag 2005

<http://www.epoca-project.eu/index.php/Outreach/RUG> [10.10.2011; 13:08]

<http://brain-fit.com/prozess/assets/images/growthpases03.png> [09.10.2011; 14:56]

#### 8.Anhang:

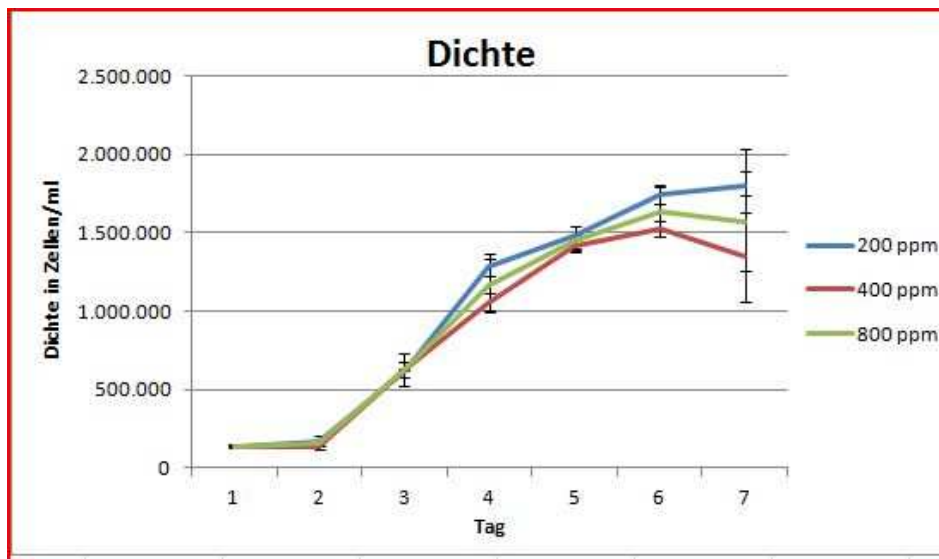


Abbildung Exp. 1 Zelldichte

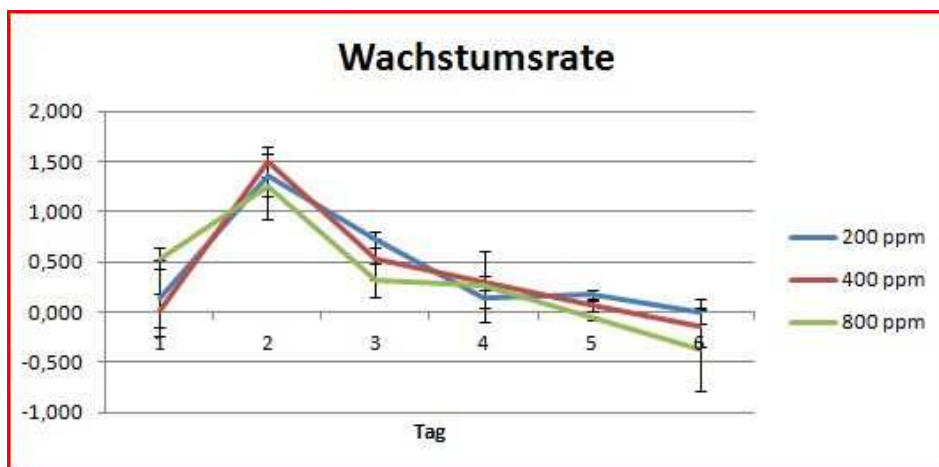


Abbildung Exp. 1 Wachstumsrate

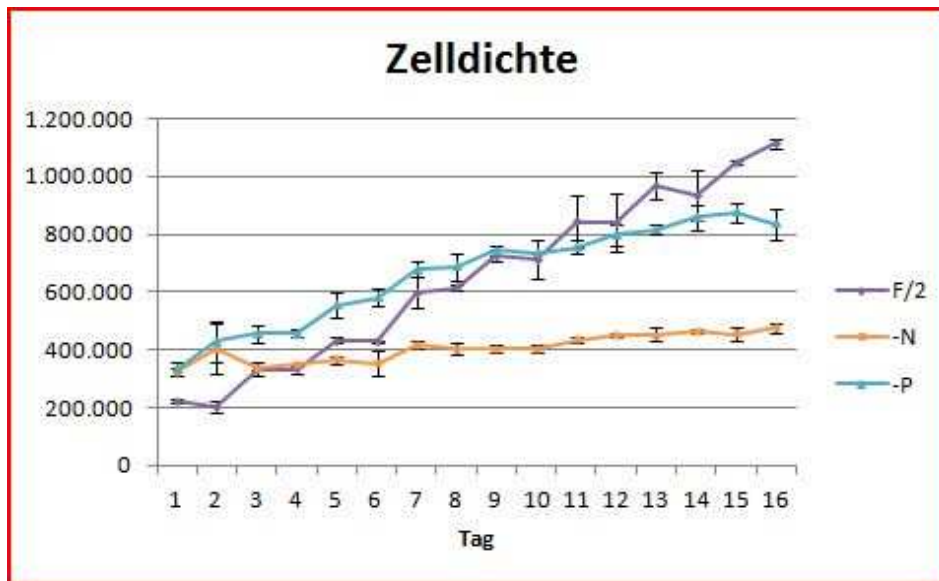


Abbildung Exp. 2 Dichte

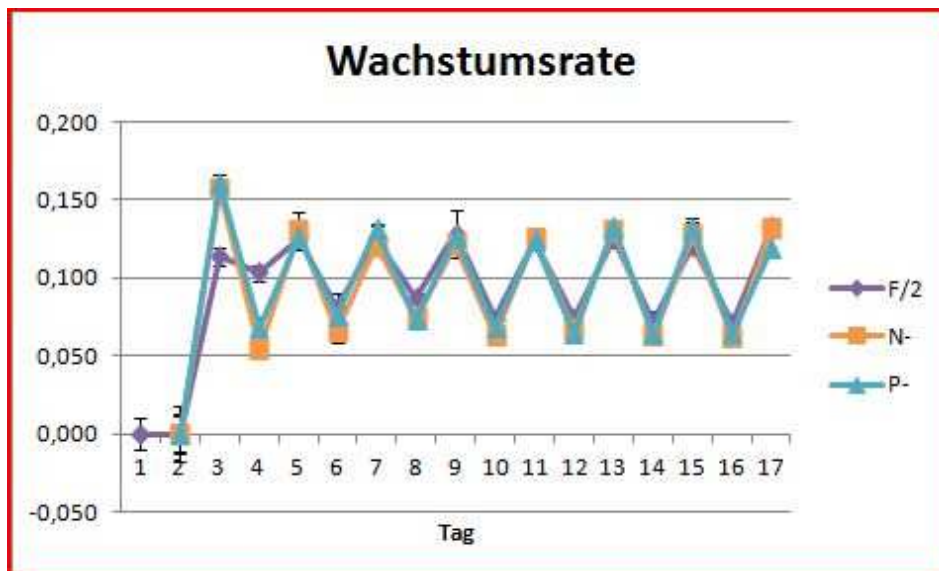


Abbildung Exp. 2 Wachstumsrate

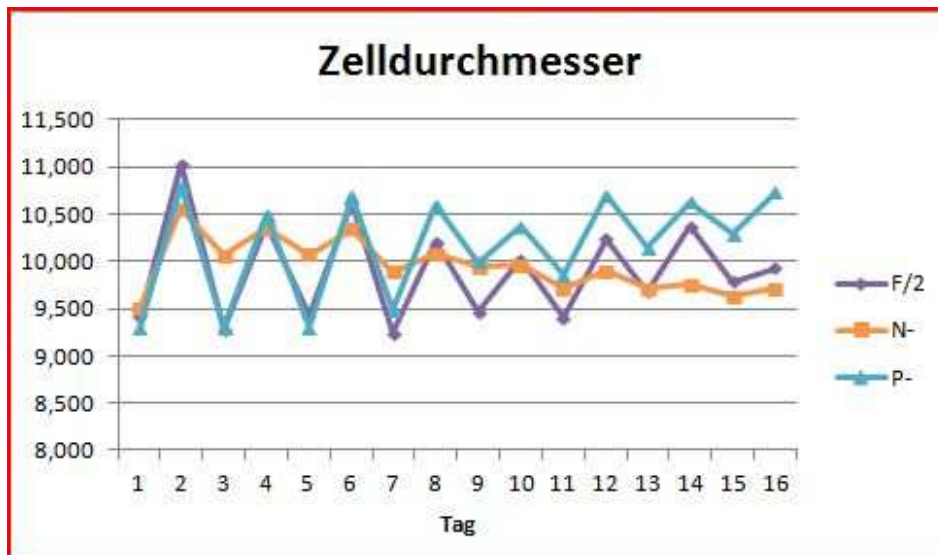


Abbildung Exp. 2 Zelldurchmesser

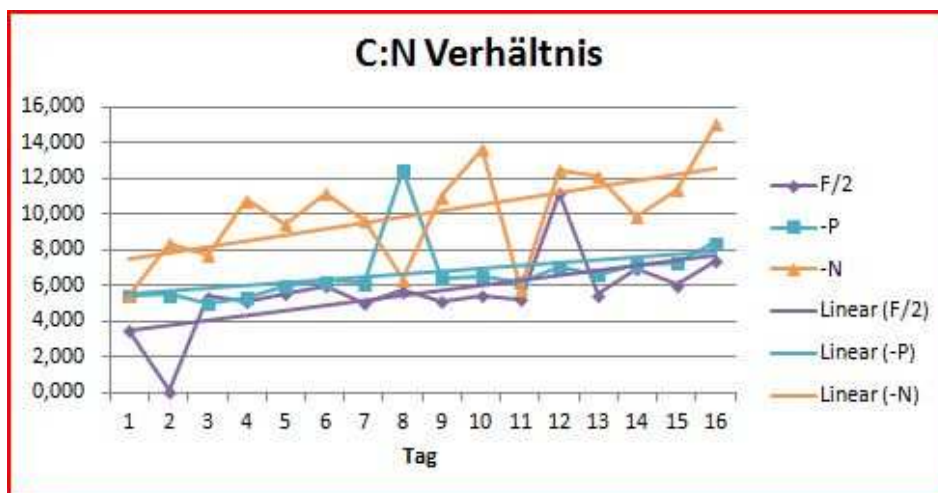


Abbildung Exp. 2 C:N Verhältnis

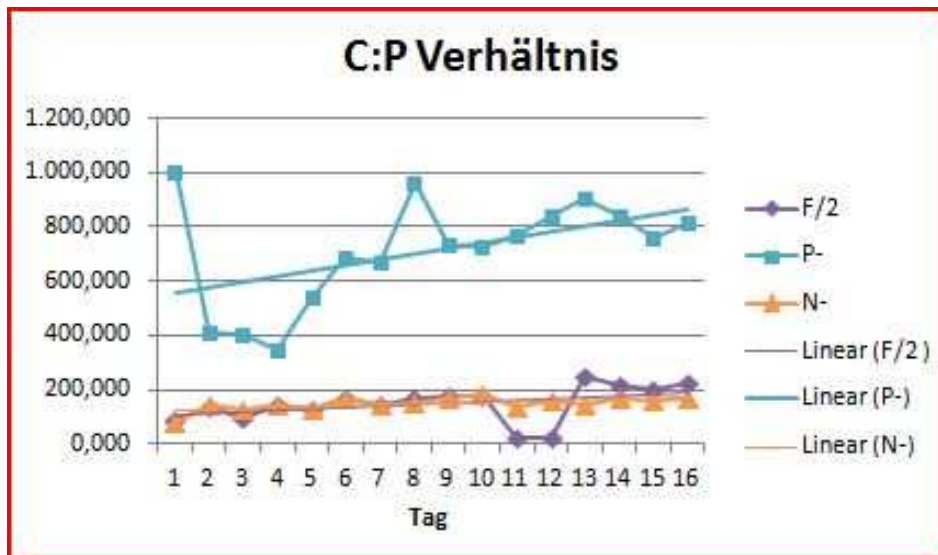


Abbildung Exp. 2 C:P Verhältnis

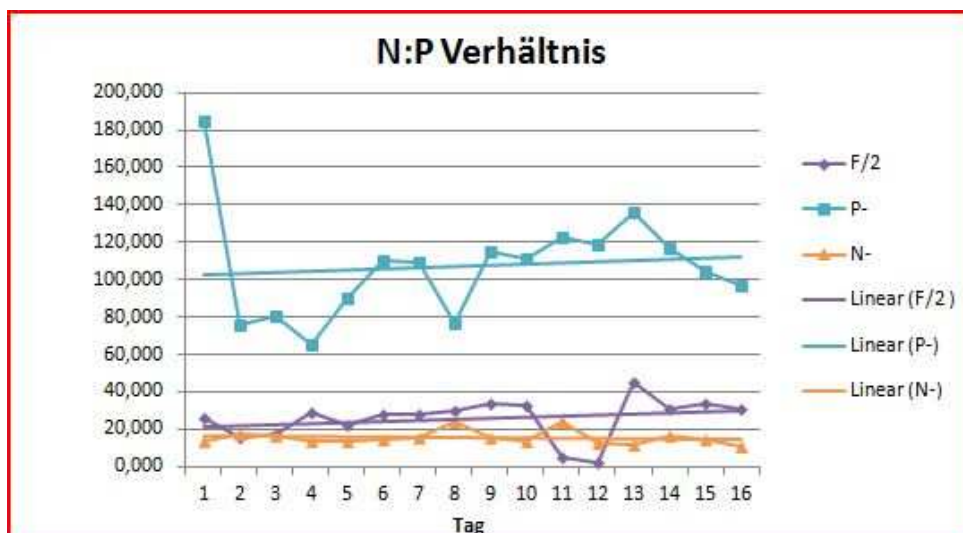


Abbildung Exp. 2 N:P Verhältnis

Datum	Tag	Dichte		
		Probe 1	Probe 2	Probe 3
29.06.2011	0	128.900	115.900	127.200
30.06.2011	1	238.700	204.000	194.900
01.07.2011	2	584.300	761.300	904.700
02.07.2011	3	822.000	1.221.000	1.032.000
03.07.2011	4	1.538.000	1.126.000	1.286.000
04.07.2011	5	1.412.000	1.080.000	1.215.000
05.07.2011	6	1.216.000	944.600	522.200

Standardabweichung	Wachstumsrate			Mittelwert Wachstumsrate
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	
7.066				
23.113	0,616	0,565	0,427	0,536
160.493	0,895	1,317	1,535	1,249
199.592	0,341	0,472	0,132	0,315
207.705	0,626	-0,081	0,220	0,255
166.962	-0,085	-0,042	-0,057	-0,061
349.628	-0,149	-0,134	-0,844	-0,376

Abbildung 9 Beispieltabelle Exp. 1 800ppm CO<sub>2</sub>