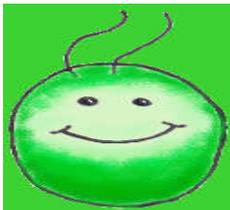


# Erzeugung und Nutzung von Biowasserstoff



Erzeugung und Nutzung von  
Biowasserstoff



erstellt von:  
Anne Bornkessel  
Jiexia Chen

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Allgemeiner Teil</b> .....	<b>3</b>
1.1 Wasserstoff als Energielösung .....	4
1.2 Die Grünalge <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> .....	4
<b>2. Der Forschungsweg</b> .....	<b>5</b>
2.1 Stand der Forschung .....	5
2.2 Wasserstofferzeugung.....	6
2.3 Besuch an der Ruhr-Universität Bochum .....	7
2.4 Wasserstoffproduktion optimieren .....	8
2.4.1 Steriles Arbeiten.....	8
2.4.2 Versuch zur Optimierung der Gasphase.....	9
2.4.3 Chlorophyllwert messen.....	11
2.5 Wasserstoffmenge bestimmen.....	11
2.5.1 Funktionsweise eines Gaschromatographen.....	11
2.5.2 Messergebnis .....	13
<b>3. Aussicht</b> .....	<b>14</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>14</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>15</b>

## Einleitung

Erdgas, Erdöl, Benzin und Kohle sind heutzutage für den Energiebedarf nicht mehr wegzudenken. Erdgas ist zurzeit noch ziemlich günstig im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern, aber wird dieses denn nicht mit der Zeit auch verbraucht sein? Die Energiefrage ist auch in den aktuellen Nachrichten Thema Nummer Eins! Nach den Problemen mit Energielieferant Russland in den letzten Tagen musste auch Bundeskanzlerin Merkel feststellen, dass wir unabhängig von den Energieträgern aus anderen Ländern werden sollten. Dabei streiten die Politiker noch darüber, was nun die perfekte Energiequelle sein soll, doch für uns ist klar: Die neue Energieressource heißt Wasserstoff!

Dabei gibt es viele Gründe, die für den Wasserstoff sprechen. Wasserstoff ist das häufigste Element bei uns auf der Erde und kann durch Brennstoffzellen in Energie umgewandelt werden, das heißt, es ist die beste und sogar umweltfreundlichste Methode, die wir kennen. Nun fragt man sich vielleicht, wie und warum man auf die Idee kommt, mit mikroskopisch kleinen Algen zu arbeiten.

Wir taten dies, weil es uns bewusst war, wie wir Menschen unsere Umwelt langsam aber sicher durch die Abgase, die wir produzieren, zerstören werden, wenn wir nicht langsam anfangen, etwas dagegen zu unternehmen. Fossile Energieträger produzieren nicht nur giftige Abgase, sondern auch Kohlenstoffdioxid, wodurch der Treibhauseffekt weiterhin verstärkt wird. Einer der schlimmsten Folgen wäre zum Beispiel die globale Erwärmung – oder haben Sie dieses Jahr schon Schnee gesehen?

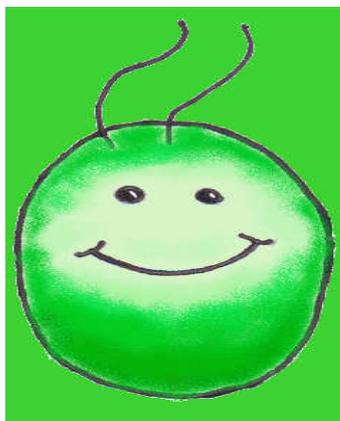
Die Algen hingegen stellen unter ganz natürlichen Bedingungen **wertvolle** und **saubere** Energie her und die lautet Wasserstoff. Da Grünalgen praktischerweise pflanzliche Einzeller sind, vermehren sie sich durch Zellteilungen relativ schnell, das heißt, sie sind **unerschöpflich**. Was auch noch wichtig ist, die Algen brauchen **nur Sonnenenergie** beziehungsweise Lichtenergie und eine schwefelhaltige Nährlösung um zu wachsen und dies können fossile Energieträger nicht.

Man darf auch nicht denken die kleinen, winzigen Grünalgen produzieren nur wenig Wasserstoff. Könnte man das Enzym von ihnen entnehmen, so könnte es in 10 Sekunden ein ganzes Luftschiff und in nur zwei Stunden ein Spaceshuttle gänzlich mit Wasserstoff füllen.

Es gibt natürlich auch andere alternative Energiequellen Beispiele wären Sonnenenergie, Windenergie und, und, und. Aber warum ausgerechnet Biowasserstoff aus Grünalgen?

- 1.Sie setzen keine Schadstoffe frei
- 2.Sind unerschöpflich
- 3.Sie sind leise ☺
- 4.Man muss nicht viel Energie reinstecken

Die Zucht und Laborarbeit muss bei uns mit einfachsten Mittel funktionieren, da unsere Schule nicht die Möglichkeiten wie zum Beispiel die Professoren besitzen.



## Unser Maskottchen: Grüni die Grünalge!

# 1 Allgemeiner Teil

Bevor wir auf unsere Versuche eingehen, wollen wir zuerst über unsere Antwort auf die Energiefrage und unseren sauberen Energielieferanten – die Grünalge – eingehen.

## 1.1 Wasserstoff als Energielösung?!

Da unsere Umwelt durch den Treibhauseffekt nicht unverschont bleibt, muss eine neue Energiereource her die:

1. Sauber, das heißt beim Umwandeln in Energie kein Abgas produziert.

2. Natürlich

3. Unerschöpflich sein sollte.

Die Antwort wäre Wasserstoff. Wasserstoff kann durch Brennstoffzellen in Energie umgewandelt werden und das Tolle daran ist, Wasserstoff ist fast überall, man muss es nur „entdecken“. So erging es auch dem Wissenschaftler vor ungefähr 60 Jahren.

Schon damals fand er heraus, dass Grünalgen unter verschiedenen Umständen ein Gas produzieren.

Heute wissen wir durch die Forschung, dass es sich um Wasserstoff handelt.

Wasserstoff hat bedeutende Vorteile, denn im flüssigen Zustand ist er dreimal leichter als Benzin und ohne Wasserstoff wäre es uns nicht gelungen, auf den Mond zu gelangen, da er leicht ist und viel Energie in sich trägt.

Einerseits sehen Menschen den Wasserstoff schon als die Energielösung – so will Peking in 2008 die sauberste Olympiade mit Hilfe von Wasserstoff bewerkstelligen und auch Schwarzenegger setzt auf Wasserstoff und will im folgenden Jahr den bestehenden Wasserstofftankstellen weitere 100 hinzufügen.

Entscheidender für eine Prognose ist jedoch, dass der führende Professor auf dem Gebiet des Wasserstoffs in Deutschland – Professor Winter – eine erstaunlich Erkenntnis machte. Er hat festgestellt, dass die Energieträger eigentlich alle 70 Jahre wechseln.

So wurden um 1770 Pferde durch Heu versorgt. 1840 gab es die Dampflock, die durch Holz angetrieben wurde. 70 Jahre später (also 1910) trat Kohle an die Stelle des Holzes. Seit 1980 werden Autos mit Gas vorangetrieben.

Folgt man diesem Rhythmus, ist es nicht auszuschließen, dass 2050 eine neue Energiequelle auf den Markt kommt – und alles spricht für den Wasserstoff, an dessen Energienutzung schon seit 30 Jahren gearbeitet wird.<sup>1</sup>

Doch nun mehr zu unserer Grünalge!

## 1.2 Die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*

Die Hauptdarstellerin unserer Arbeit ist die einzellige Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*.

Sie gehört zu der Klasse der Grünalgen (*Chlorophyceae*), die den übrigen grünen Pflanzen näher steht als anderen Algengattungen. *Chlamydomonas reinhardtii* gehört innerhalb der

---

<sup>1</sup> Vgl. hierzu [www.itsHYtime.de](http://www.itsHYtime.de)

Grünalgen zu der Ordnung der *Volvocales* und ist ein Süßwasserbewohner. Sie besitzen einen Augenfleck, mit dem sie Licht wahrnehmen können. *Chlamydomonas reinhardtii* hat zwei Geißeln und ist damit sehr beweglich

Einzellige Grünalgen enthalten nur einen einzigen Chloroplasten! Dies ist ein kleiner Körper (auch Zellorganell genannt, also ein kleines „Organ“ innerhalb einer Zelle) in Pflanzenzellen, in dem die Photosynthese stattfindet. Normale Pflanzen enthalten sehr viele Chloroplasten.



Abb.1: *Chlamydomonas reinhardtii* aus eigener Zucht

„Eine Eigenschaft macht diese kleine Alge für uns besonders interessant: Unter bestimmten Bedingungen bildet *Chlamydomonas* Wasserstoff ( $H_2$ ).

„ $H_2$  ist in den letzten Jahren ein allgemein bekannter Begriff geworden, denn auf der Suche nach regenerativen Energieformen gilt dieses hochenergetische Gas als Energieträger der Zukunft.“<sup>2</sup>

Für *C. reinhardtii* ist die  $H_2$ -Produktion eine zusätzliche Stoffwechselfunktion, die in normalen Pflanzen nicht vorkommt. Eigentlich gleicht der Stoffwechsel eher den Bakterien, da er mit der Gärung zu vergleichen ist. Außerdem ist der  $H_2$ -Stoffwechsel im Reich der Bakterien weit verbreitet.

Die für diesen Stoffwechsel verantwortlichen Enzyme (Proteine) nennt man „Hydrogenasen“ (von „hydrogen“ = engl. Wasserstoff). In Grünalgen sind diese Enzyme mit der Photosynthese gekoppelt.

„Weiterhin wird die  $H_2$ -Produktion in Grünalgen durch Sonnenlicht angetrieben und von Wasser gespeist, was sie zu der regenerativen Energiequelle schlechthin macht.“<sup>3</sup>

## 2 Der Forschungsweg

### 2.1 Stand der Forschung

Wasserstoff ist das häufigste Element bei uns auf der Erde und kann durch Brennstoffzellen in Energie umgewandelt werden. Wasserstoff ist fast überall, man muss es nur „entdecken“. So erging es dem Wissenschaftler Gaffron vor ungefähr sechzig Jahren. Schon damals fand er heraus, dass Grünalgen unter verschiedenen Umständen ein Gas produzieren.

<sup>2</sup> Vgl.: [www.ruhr-uni-bochum.de/pbt/deutsch/02\\_1%20Gruenalgen.html](http://www.ruhr-uni-bochum.de/pbt/deutsch/02_1%20Gruenalgen.html)

<sup>3</sup> Vgl.: ebd.

Heute wissen wir durch die Forschung, dass es sich um Wasserstoff handelt. Die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* ist ein pflanzlicher Einzeller, das heißt sie betreibt Photosynthese und Zellatmung. Den Wasserstoff produzieren sie nur unter Schwefelmangel, dabei können Enzyme nicht arbeiten, die für den ersten Schritt in der Photosynthese verantwortlich sind, sie spalten nämlich Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Ohne Sauerstoff ist keine Zellatmung möglich und deswegen stellen sie sich auf einen „Notfallstoffwechsel“ um. Bei dieser Art von „Gärung“ entsteht durch die Hilfe eines Enzyms (die Hydrogenase) nur wenig ATP im Vergleich zur Zellatmung. Stattdessen entsteht Wasserstoff als Abfallprodukt. Die Grünalgen besitzen dazu eine hoch effiziente Hydrogenase und sind deswegen für die biotechnologische Wasserstoffproduktion sogar sehr gut geeignet.

Die mittlere Wasserstoffbildungsrate der Grünalgen liegt bei fünf bis zehn Milliliter Wasserstoff je Stunde und Liter Algenkultur. Bei anhaltender Schwefelmangel sterben sie jedoch nach circa vierzehn Tagen.

## 2.2 Wasserstofferzeugung

Unsere Grünalge (*Chlamydomonas reinhardtii*) stellt – wie gesagt - unter bestimmten Bedingungen Wasserstoff her.

Wir haben drei Möglichkeiten, mit Grünalgen Wasserstoff zu gewinnen:

1. Die Selbstentschwefelungsmethode
2. Das Abzentrifugieren
3. Die „Gasphasen“-Methode

Da wäre erstens die Selbstentschwefelungsmethode. Normalerweise leben unsere Grünalgen in einer schwefelhaltigen Nährlösung. Den Schwefel benötigen sie für die Photosynthese, da schwefelhaltige Enzyme für den ersten Schritt in der Photosynthese verantwortlich sind.

Bei der Selbstentschwefelungsmethode geben wir den wachsenden Grünalgen nur einen geringen Anteil an Schwefel. Um zu wachsen werden sie den Schwefel mit der Zeit aufbrauchen, und wenn nach vier Tagen kein Schwefel mehr vorhanden ist, stellen sich die Algen auf einen „Notfallstoffwechsel“ um, bei dem Wasserstoff als Abfallprodukt entsteht.

Sie entschweifelt sich sozusagen selbst, daher auch der Name. Diese Methode hat bedeutende Vorteile, denn:

1. sie können „auswachsen“ bevor sie mit der Wasserstoffproduktion beginnen
2. es geht schnell und ist weniger Arbeit
3. die Wasserstofferzeugungsrate ist sogar höher!

Es gibt allerdings auch eine zweite, wesentlich mühsamerer Möglichkeit um an das wertvolle Gas zu gelangen. Das wäre das Abzentrifugieren. Hierbei wachsen die Algen zunächst in schwefelhaltiger Nährlösung heran, werden dann durch mehrere Arbeitsschritte von diesem befreit und dann in schwefelfreie Nährlösung gibt. Es findet also sozusagen ein Medienwechsel statt.

Dazu füllt man die Grünalgen in gleichen Mengen (10ml) in dafür extra geeignete Reagenzgläser und lässt diese dann anschließend 4Minuten lang zentrifugieren. Danach kippt man den Überstand, der aus schwefelhaltige Nährlösung besteht, mit einem Ruck weg und löst das Pellet mit schwefelfreier Nährlösung auf.

Anschließend pipetiert man ein weiteres Mal schwefelfreie Nährlösung auf das Pellet und lässt es dann wieder abzentrifugieren. Diesen Vorgang wiederholt man 2 Mal.

Am Ende kippt man die schwefelfreien Algen in eine schwefelfreie Nährlösung und nach 24 Stunden fängt die Produktion an. Da diese Methode Zeit, Nerven und Feingefühl braucht, ist die andere Methode ratsamer, besonders da die Wasserstoffherzeugung höher ist.

Wir haben uns am Anfang gefragt, ob das produzierte Gas kein  $\text{CO}_2$  oder  $\text{O}_2$  sein kann. Heute wissen wir, dass es nicht sein kann, da die Grünalgen keine Photosynthese und Zellatmung mehr betreiben, wenn sie unter Schwefelmangel leiden.

Die dritte Methode wird in der Universität Bochum angewandt und funktioniert folgendermaßen. Nachdem die Grünalgen in einer schwefelhaltigen Nährlösung aufgewachsen sind, füllt man ihre Gasphase, die vorher mit allen Bestandteilen der Luft gefüllt war, mit Argon oder Stickstoff auf. Dadurch ist dann kein Kohlenstoffdioxid mehr vorhanden, der Fotosyntheseprozess wird gestoppt, die Grünalgen stellen ihren Stoffwechsel um und Wasserstoff fällt als Abfallprodukt an.

### 2.3 Besuch an der Ruhr-Universität Bochum

Die Universität Bochum besitzt (unter anderem) ein großes Gebäude, das die Naturwissenschaften beherbergt. Dort werden auch Grünalgen herangezogen und untersucht. Dies macht Frau Müllner mit vielen anderen Kollegen in der Arbeitsgruppe von Professor Happe. Sie hat uns auch eingeladen, um uns wertvolle Tipps für unsere Arbeit mit den Grünalgen zu geben.

Am Tag unseres Besuches waren wir zuerst im Büro von Frau Müllner. Sie führte uns dann in den Zuchtraum, in dem die Grünalgen beleuchtet und gerüttelt wurden. In einem Regal standen sehr viele Petrischalen mit noch mehr Mutanten. Das sind gentechnisch veränderte Grünalgen. Die Studenten, Professoren oder sonstige Uni-Mitarbeiter „schießen“ fremde DNA auf die unterschiedlichen Algen-Arten und hoffen, dass irgendwann einmal produktionsstärkere Mutanten herauskommen.

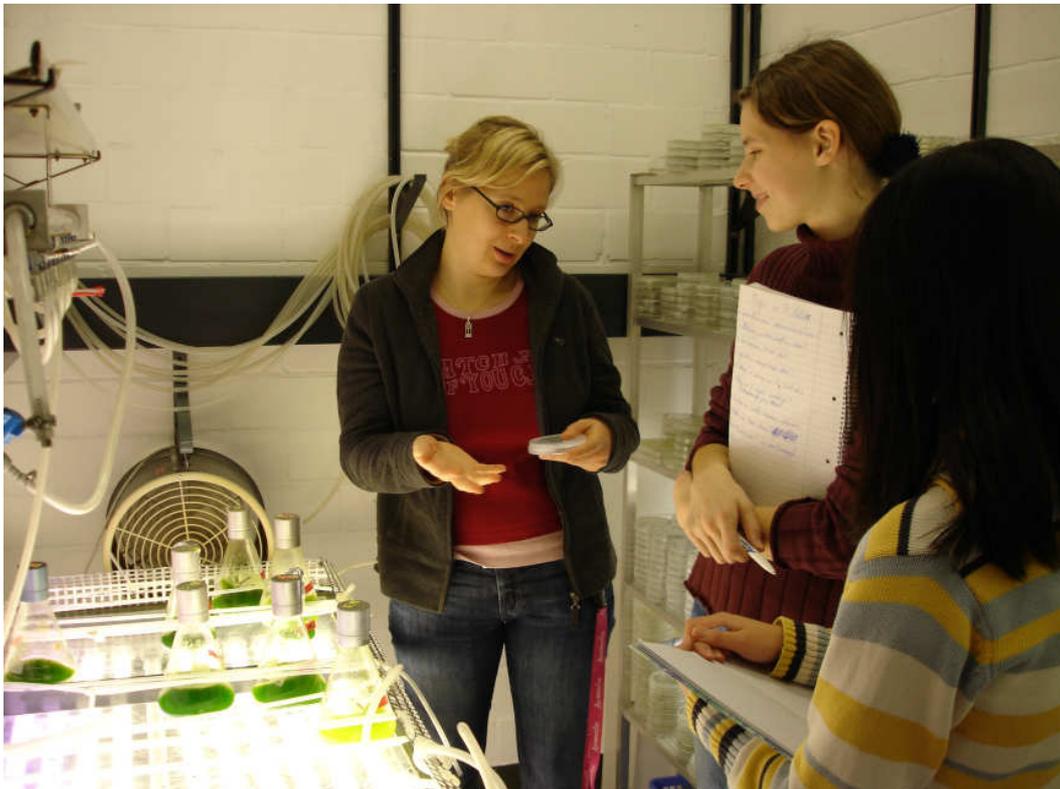


Abb. 2: Zuchtraum der Ruhr-Universität Bochum

Alle Mutanten befinden sich auf Agar-Platten, dies ist die zweitbeste Methode, Grünalgen möglichst lange aufzubewahren. Die beste Methode jedoch ist, die Grünalgen schockartig von der Zimmertemperatur (ca. 20 C°) auf -60 C° bis -80C° herunter zu kühlen. Dazu werden die Grünalgen (natürlich nicht einzeln, sondern gut verpackt) in Stickstoff geworfen.

Gut arbeiten konnte man in diesem Raum aber nicht, da es durch die vielen Grünalgen, die geschüttelt wurden, sehr laut war. Die Gasphase der geschüttelten Grünalgen, die an der Selbstentschwefelung teilnahmen, war vorher mit Argon bzw. Stickstoff aufgefüllt worden. Dadurch ist kein Kohlenstoffdioxid mehr vorhanden und die Fotosynthese wird gestoppt.

Frau Müllner hat dann einen Erlenmeyerkolben mit Grünalgen mitgenommen in einen anderen Raum. Dort haben wir den Chloropyllwert gemessen und „ganz nebenbei“ noch vieles zum sterilen Arbeiten gelernt (Vorgehensweise siehe unten). Zum Schluss durften wir Frau Müllner dann noch ausgiebig befragen. Als Dank haben wir ihr einen kleinen Schutzengel geschenkt, der sich jedoch direkt von ihrem Computer stürzen wollte.

## **2.4 Wasserstoffproduktion optimieren**

Um die Wasserstoffproduktion zu optimieren, muss man auf jeden Fall steril arbeiten, sonst siedeln sich Bakterien an, die unsere Algen überwuchern (da sie schneller wachsen) und ihnen keinen Platz zum Überleben und Wasserstoff produzieren lassen. Auch wir können, wenn wir krank sind, nicht so viel leisten wie im gesunden Zustand.

Bei den Algen helfen uns aber auch eine kleine Gasphase und der richtige Chlorophyllwert, konzentrierten Wasserstoff zu erhalten.

### **2.4.1 Steriles Arbeiten**

Normalerweise benutzt man eine Sterilbank, wenn man Keim- und Bakterienfrei arbeiten möchte. Da diese an unserer Schule aber nicht vorhanden ist, mussten wir uns anderweitig helfen. Unsere Notlösung besteht aus

- einem feuerfesten Untergrund
- zwei Bunsenbrennern
- Desinfektionsspray
- ein Feuerzeug
- Gas (für die Bunsenbrenner)
- Reagenzglasständer (mind. 2)
- Trockenes Papiertuch

Zuerst Besprühen wir den feuerfesten Untergrund und unsere Hände großflächig mit dem Desinfektionsspray, danach wischen wir mit einem trockenen Tuch kurz über die besprühte Fläche. Dann stellen wir die beiden Bunsenbrenner im Abstand von ca.20cm auf- da der sterile Bereich um die Flamme herum einen Durchmesser von ca. 10 Zentimetern hat- und zünden sie an. Nun stellen wir die Reagenzglasständer in den sterilen Bereich. Auf diesen können Dinge, die steril sein sollen, im sterilen Bereich stehen.



Abb.3: Frau Müllner erklärt uns das Sterile Arbeiten

Bei dem sterilen Arbeiten muss immer darauf geachtet werden, die sterilen Dinge innerhalb des sterilen Bereiches zu lassen und nur mit sterilen Dingen zu Arbeiten, sonst ist nach kurzer Zeit alles voller Bakterien.

#### **2.4.2 Versuch zur Optimierung der Gasphase**

##### **Versuchsfrage:**

Bei welcher Menge Algenkultur / Gasphase wird von Grünalgen am meisten Wasserstoff produziert?

##### **Materialien:**

Gaschromatograph, eine gesunde Zucht, Selbstentschwefelung: (300ml,400ml,500ml), zwei Spritzen und einen Computer, zwei Bunsenbrenner, Feuerzeug, Sterilium und ein Taschentuch und eine glatte Fläche.

## Versuchsaufbau:



**Abb. 4: Versuch zur Bestimmung der optimalen Gasphase**

### **Durchführung:**

Um den Versuch durchführen zu können mussten wir auf einer sterilen Fläche arbeiten. Dann haben wir zwischen zwei Bunsenbrennern drei Milliliter Algen aus der Zucht entnommen und diese dann gerecht in drei Selbstentschwefelungslösungen verteilen und dann wieder zurück auf die Rührer gesetzt. Nach zwei Tagen entnahmen wir die erste Probe.

### **Beobachtung:**

Aus jeder Probe entnahmen wir jeweils 2ml Probe. Das Ergebnis:

**300ml:** stieg auf 0,0155 nach 26 Sekunden

**400ml:** stieg auf 0,0307 nach 31 Sekunden

**500ml:** stieg auf 0,0419 nach 33 Sekunden

### **Auswertung:**

Zu 500ml, 1ml Grünalgen ergibt das perfekte Konzentrat!

### 2.4.3 Bestimmung des Chlorophyllwertes

Frau Müllner, von der Universität Bochum, brachte uns bei, wie man den Chlorophyllwert der Grünalgen bestimmt.

Zuerst wurden in einem sterilen Bereich mit Hilfe einer Pipette ein paar Milliliter Grünalgen aus einer sterilen Zucht entnommen und in ein Behältnis gegeben. Das Behältnis und alle nachfolgenden Teile müssen nicht steril sein, weil wir nach dem Bestimmen des Chlorophyllwertes mit den Grünalgen nicht mehr weiterarbeiten können. Nun wurde die Zucht wieder verschlossen und zurück in den Raum mit den vielen Mutanten gebracht.

Aus dem Behältnis wurde zweimal eine bestimmte Menge Grünalgen in Eppis gefüllt, zum Beispiel: zwei Eppis mit jeweils einem Milliliter. Um eine Eichkurve für den Chlorophyllwert zu erstellen, benötigt man ca. fünf Werte. Zum Beispiel: zwei mal 1,5 ml, zwei mal 1,25 ml, zwei mal 1 ml, zwei mal 0,75 ml und zwei mal 0,5 ml. Alle Eppis, deren Wert unter dem höchsten Wert liegen werden bis zu diesem mit schwefelhaltiger Lösung aufgefüllt (hier 1,5 ml).

Deswegen muss man die Eppis unbedingt beschriften, sonst kann man sie kaum auseinander halten. Dann werden die Eppis samt Inhalt zentrifugiert.

Danach wird der Überstand (Nährlösung) vorsichtig abpipettiert. Zu dem zurückgebliebenen Pellet (Grünalgen) wird 1 ml Aceton gegeben. Dadurch wird das Chlorophyll aus den Grünalgen gelöst. Hierbei muss man zügig arbeiten, weil sich das Aceton schnell verflüchtigt. Immer, wenn man mit der Pipette, von den Grünalgen ins Aceton geht, benötigt man eine neue Pipettenspitze, da die Grünalgen nicht in das Aceton gelangen sollen.

Nun muss das Pellet gelöst werden, dazu „rubbelt“ man die Eppis am besten über ein Gitter. Die Eppis werden dann mit kleinen blauen Kappen verschlossen und für drei Minuten in einem 80°C heißen Heizblock gegeben. Dadurch werden die Zellen aufgebrochen. Nun werden die Eppis erneut zentrifugiert, damit sich die Zelltrümmer absetzen. Diese setzen sich als Pellet ab, im Überstand befindet sich das gelöste Chlorophyll. Das Pellet wird abpipettiert und in einen neuen Eppi gegeben. Nun wird zuerst reines Aceton in eine Küvette gefüllt. Diese muss unbedingt aus Glas sein, weil Kunststoff von Aceton angegriffen würde. Die Küvette wird dann in das Photometer gestellt. Der Messwert dient als Nullwert (>Blanc) für die nachfolgenden Proben. Bei Messwerten der Proben über eins wird mit Aceton verdünnt.

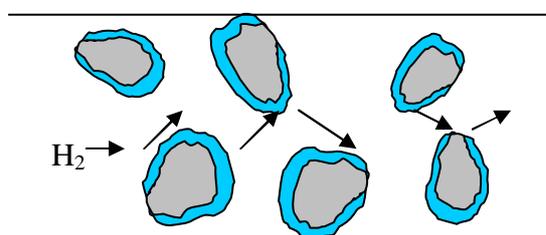
Den Messwert muss man je nach Verdünnung mit folgender Formel berechnen: den Messwert (0-1) mal den Wert des Photometers ergibt Chlorophyll mg/ml. Hierbei muss man zuerst den Durchschnittswert der Proben errechnen.

## 2.5 Wasserstoffmenge bestimmen

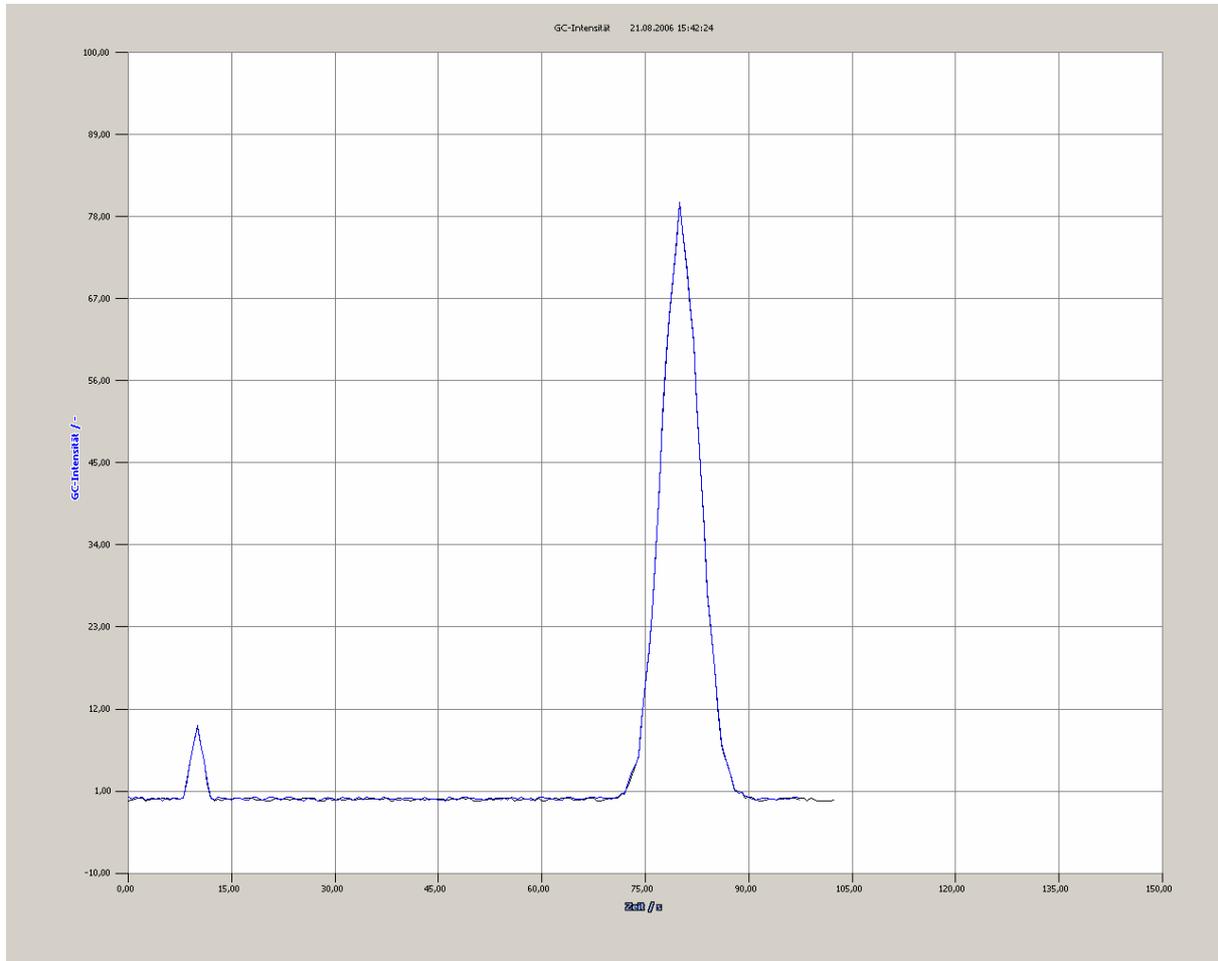
### 2.5.1 Funktionsweise eines Gaschromatographen

Ein Gaschromatograph ist ein Messgerät, das auch geringste Gasmengen messen kann. Unser Kappenberg-Gaschromatograph besteht aus einer Aquarien-Pumpe, einem Stativ, einem Glühdrahtsensor, einer Säule mit einer Trägersubstanz und hochviskoser Flüssigkeit und einem Spannungsmesser.

Schematische Darstellung der Säule:



Die Aquarien-Pumpe sorgt dafür, dass ein gleichmäßiger Luftstrom durch die Säule fließt. Dieser Luftstrom kühlt den Glühdraht, sodass der Widerstand sinkt. Dadurch, dass sich eine Gasprobe entweder langsamer oder schneller als Luft (wie beispielsweise Wasserstoff) durch die Säule bewegt, ändert sich die Temperatur des Glühdrahtes und somit auch die Spannung. Wenn wir den Gaschromatographen an einen Computer mit dem speziellen Programm anschließen, können wir die Messungen als Liniendiagramm mitverfolgen.



Leider verzögert sich die Übertragung auf den Computer meistens um einige Sekunden.

Versuch:

Um den Wasserstoffgehalt in der Gasphase zu messen benötigen wir;

- den Gaschromatographen
- eine Spritze
- 1 ml reinen Wasserstoff (zum Eichen)
- Grünalgen, die schon Wasserstoff produziert haben
- Strom
- einen Computer mit speziellem Programm

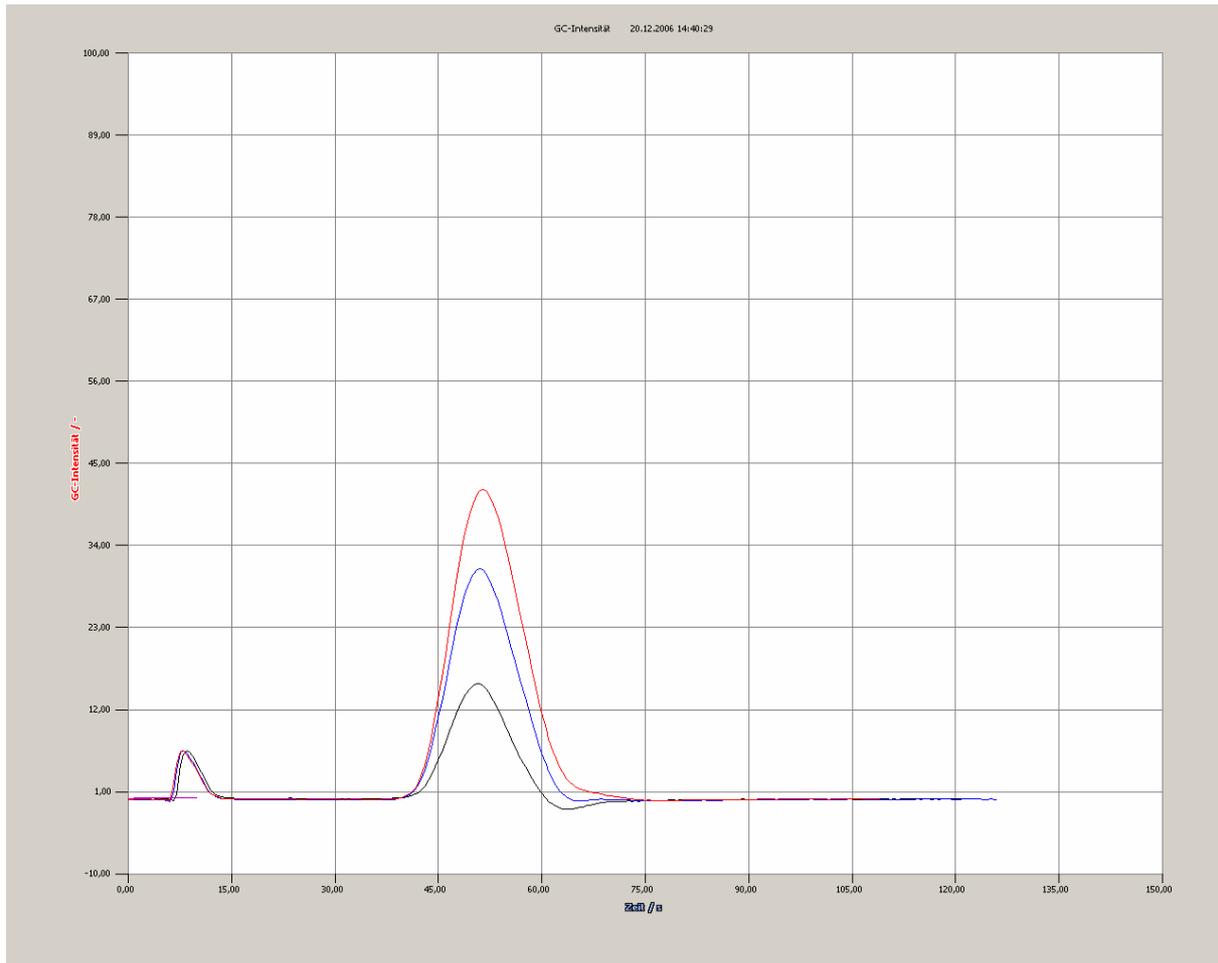
Zuerst haben wir alle Teile des Gaschromatographen zusammengebaut, an den Strom angeschlossen und dann mit dem Computer verbunden. Dann haben wir das Computer-Programm geöffnet. Nun spritzten wir den reinen Wasserstoff in die Säule des Gaschromatographen um zu wissen, wie viel Zeit der Wasserstoff benötigt um durch die Säule zu laufen (ca. 40 Sekunden). Mit der Spritze entnahmen wir dann 2 ml der Gasphase der Grünalgen und spritzten diese ebenfalls in die Säule des Gaschromatographen. Wie vorher bei dem reinen Wasserstoff konnte man zuerst den kleineren Einstich-Peak erkennen, dann

sank der Courser wieder auf Null ab bevor er den Wasserstoff als Kurve einzeichnete. Da die Algen ... Tage Zeit zum Produzieren hatten betrug der Wasserstoffgehalt ...

Ergebnis:

Unsere Grünalgen produzieren noch zu wenig Wasserstoff um diesen wirtschaftlich zu nutzen. Um ein Modellauto anzutreiben genügt es jedoch schon. Wenn man es schaffen würde, das Enzym zu isolieren könnten die Grünalgen sogar noch viel mehr produzieren. Im Klartext heißt das: 1 mol Enzym produziert genug Wasserstoff, um ein Luftschiff in zehn Sekunden oder ein Space Shuttle in zwei Stunden mit Wasserstoff zu befüllen.

## 2.5.2 Messergebnis



Die schwarze Kurve beschreibt ist das Ergebnis der Probe mit 300ml, die blaue beschreibt die Kurve der Probe mit 400ml und die rote das von 500ml.

Es ist deutlich zu erkennen, dass im letzten Ansatz die Wasserstoffproduktion am besten ist. Wir werden hierzu noch weitere Versuche durchführen.

### **3. Aussicht**

Unser Ziel war von Anfang an eine gesunde Zucht und wasserstoffproduktionsfähige Zucht zu erhalten und mit dem Wasserstoff ein selbst gebautes Brennstoffzellenauto anzutreiben. Auf dem Weg dorthin haben wir bis jetzt jede Menge Sachen gelernt, für die wir uns am Anfang eigentlich gar nicht interessierten. Dazu gehörten auch Formeln auswendig lernen und mit Arbeitsmaterialien zu arbeiten, mit denen die Oberstundenschüler lernen. Ein Beispiel wäre mit dem Photometer zu arbeiten.

Das Photometer bestimmt den Chlorophyllwert und damit können wir dann die Zucht verbessern, beziehungsweise die optimale Algendichte bestimmen. Das wollten wir bis zum Wettbewerb auch erreichen. Unsere größte Herausforderung wird aber sein, ein Brennstoffzellenauto zu bauen.

Durch das Forschen lernt man auch viele Menschen kennen. Da gehört auch die Frau Müllner von der Universität Bochum dazu. Durch sie haben wir gelernt, wie man mit dem Photometer arbeitet und hatten dabei auch die Gelegenheit die Arbeitswelt eines Forschers genauer unter die Lupe zu nehmen.

Die Erfahrung unseres Lebens bleibt aber immer noch München. Die Autofirma BMW hat uns dorthin geholt wegen des Wasserstoffprojekts. Sie wollten die Öffentlichkeit nämlich auch weiß machen wie wichtig Wasserstoff die Zukunft sein wird

#### **Danksagung**

Wir möchten hiermit Hering Schuppener Unternehmensberatung für Kommunikation GmbH und auch BMW danken, dass wir nach München kommen durften und dort vielfältige Erfahrungen machen konnten.

Ebenso bedanken wir uns bei Frau Müllner von der Uni Bochum. Sie hat uns viel beigebracht und auch unsere Grünalgenzucht gerettet.

Vielen Dank auch an Frau Küppers, Herrn Stein und Herrn Kazmierczak, drei Lehrer unserer Schule, ohne die unser Projekt gar nicht hätte durchgeführt werden können.

## Literaturverzeichnis:

- Happe, Thomas und Müllner, Katrin: Biokraftstoffe aus Algen. Photobiologische Wasserstoffproduktion und Kohlenstoffdioxid-Fixierung, Bochum, 2003.
- Schäfers, A, Scholz, W. A., Happe, Thomas: Wasserstoff-Bioreaktoren im Schülerexperiment, Bochum, 2002
- Messinger, Johannes: Photosynthetische Wasseroxidation, Müllheim an der Ruhr, 2004

## Links:

- <http://www.diebrennstoffzelle.de/wasserstoff/herstellung/algen.shtml>
- <http://www.itsHYtime.de>
- [http://www.biologie.tu-dresden.de/biotech/main/pdf/poster/poster\\_gruenalgen.pdf](http://www.biologie.tu-dresden.de/biotech/main/pdf/poster/poster_gruenalgen.pdf)
- [http://www.dpg-tagungen.de/archive/2004/ake\\_5.html](http://www.dpg-tagungen.de/archive/2004/ake_5.html)
- <http://www.bionik.tu-berlin.de/institut/s2solar.html>
- <http://www.physikerboard.de/lexikon/index.php/Wasserstoffherstellung>
- <http://www.infofrosch.net/w/wa/wasserstoffherstellung.html>
- <http://www.tor.at/resources/focus/telepolis/science/heise.de/tp/deutsch/inhalt/lis/1144/1.html>
- <http://www.tierenzyklopaedie.de/news/200112/011213pte.html>
- [http://www.energienetz.de/pre\\_cat\\_43-id\\_484subid\\_808\\_subsubid\\_810\\_.html](http://www.energienetz.de/pre_cat_43-id_484subid_808_subsubid_810_.html)
- [http://www.geocities.com/wuenschi/Alge\\_7.html](http://www.geocities.com/wuenschi/Alge_7.html)
- [http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften\\_chemie/bericht-6645.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/bericht-6645.html)
- [http://www.ruhr-uni-bochum.de/pbt/deutsch/02\\_1%20Gruenalgen.html](http://www.ruhr-uni-bochum.de/pbt/deutsch/02_1%20Gruenalgen.html)

