



**IMST – Innovationen machen Schulen Top**

Kompetent durch praktische Arbeiten – Labor, Werkstätte & Co

# **FOTOSYNTHEISIZERS**

ID 1639

**Mag. Peter Pany**

**Mag. Simon Götsch, Mag. Peter Lampert**  
**Wiedner Gymnasium**

Wien, Juni 2016

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
1.1 Stolpersteine bei der VWA .....	3
1.2 Ansatz des vorliegenden Projektes.....	3
<b>2 ZIELE</b> .....	<b>5</b>
2.1 Ziele auf Schüler_innenebene .....	5
2.2 Ziele auf Lehrer_innenebene .....	5
2.3 Verbreitung der Projekterfahrungen.....	5
<b>3 DURCHFÜHRUNG</b> .....	<b>6</b>
3.1 Messanordnung .....	6
3.2 Projektvorbereitung .....	7
3.2.1 Vorversuch mit der 5. Klasse .....	7
3.2.2 Vorbereitung der Messanordnung.....	8
3.3 Planung und Durchführung der Messungen.....	9
3.4 Auswertung der Messungen .....	12
<b>4 EVALUATIONSMETHODEN</b> .....	<b>14</b>
<b>5 ERGEBNISSE</b> .....	<b>15</b>
5.1 Ergebnisse zu den Zielen auf Schüler_innenebene.....	15
5.2 Ergebnisse zu den Zielen auf Lehrer_innenebene.....	16
<b>6 DISKUSSION/INTERPRETATION/AUSBLICK</b> .....	<b>17</b>
<b>7 LITERATUR</b> .....	<b>18</b>

## ABSTRACT

*Im Rahmen des Projektes „Fotosynthesizers“ wurde eigenständige Forschungsarbeit der SchülerInnen gefördert. Neu im Unterricht war dabei v.a. der Einsatz elektronischer Messwerterfassungssysteme, die es ermöglichen quantitativ auswertbare Ergebnisse zu generieren. Die SchülerInnen lernten dabei selbstständig instrumentell zu messen und dabei auftretende Probleme eigenständig zu lösen.*

*Die SchülerInnen erwarben die Kompetenz naturwissenschaftliche Fragestellungen derart zu formulieren, dass diese im Rahmen einer experimentellen Untersuchung bearbeitbar werden. Dazu wird ein kompletter Forschungszyklus von der Formulierung der Forschungsfrage über die Entwicklung einer adäquaten Methodik, der Dokumentation der Messwerte und sonstiger Ergebnisse sowie der Diskussion der Schlussfolgerungen durchgeführt. Im Mittelpunkt stand das kooperative empirische Arbeiten zu Umweltfaktoren (Licht, CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, unterschiedliche Pflanzenarten) welche die Fotosyntheseleistung beeinflussen. Gemessen wird die Fotosyntheseleistung dabei über Sauerstoffsensoren, welche die während der Messdauer von ca. 8 Stunden entstandene Sauerstoffmenge detektieren. Die erhaltenen Ergebnisse aus mehreren Parallelmessungen wurden anschließend ausgewertet um abschließend die selbst formulierte Forschungsfrage zu beantworten.*

Schulstufe:	9. Stufe/11. Stufe
Fächer:	Biologie & Umweltkunde, Naturwissenschaftliches Labor
Kontaktperson:	Mag. Peter Pany
Kontaktadresse:	Wiedner Gymnasium, Wiedner Gürtel 68, 1040 Wien
Zahl der beteiligten Klassen:	2
Zahl der beteiligten SchülerInnen:	30

### **Urheberrechtserklärung**

*Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit (=jede digitale Information, z.B. Texte, Bilder, Audio- und Video Dateien, PDFs etc.) selbstständig angefertigt und die mit ihr unmittelbar verbundenen Tätigkeiten selbst erbracht habe. Alle aus gedruckten, ungedruckten oder dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte sind zitiert und durch Fußnoten bzw. durch andere genaue Quellenangaben gekennzeichnet. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird. Diese Erklärung gilt auch für die Kurzfassung dieses Berichts, sowie eventuell vorhandene Anhänge.*

# 1 EINLEITUNG

An unserer Schule, dem Wiedner Gymnasium, müssen alle Schüler\_innen ab der 5. Klasse vorbereitende Arbeiten für die vorwissenschaftliche Arbeit im Rahmen der Reifeprüfung (BGBl. II Nr. 174/2012) durchführen. Dazu wurde ein abgestuftes Programm entwickelt, das die Schüler\_innen an (vor)wissenschaftliches Arbeiten heranzuführt und sie mit dafür wichtigen Arbeitstechniken vertraut macht. Im Vordergrund standen dabei anfangs formale Gesichtspunkte, wie das einheitliche Zitieren, was aber rasch auch durch Übungen zur Literaturrecherche und Beurteilung von Literatur und Quellen ergänzt wurde. In den ersten Jahren machten wir dann die Erfahrung, dass viele Schüler\_innen, geprägt durch diese Übungen oder auch Erfahrungsberichte von älteren Bekannten oder Geschwistern (die ja noch Spezialgebiete ausarbeiten mussten) für ihre VWA überwiegend reine Literaturarbeiten verfassten.

## 1.1 Stolpersteine bei der VWA

Damit verbunden ergaben sich aber auch gleich einige Schwierigkeiten. Es fiel den Schüler\_innen oft schwer, ein Thema so einzugrenzen, dass sie am Ende mit Ihrer Arbeit selbst zufrieden waren. Oft liefen die Arbeiten aus dem Ruder oder sprengten den Rahmen. Darüberhinaus war auch oft zu beobachten, dass die Kandidat\_innen sich schwer taten, einen thematischen Rahmen zu definieren, innerhalb dessen sie sich dann mit ihrer Arbeit bewegten. Sollte man nun noch dieses oder jenes Thema mitbehandeln? Sollte dieses oder ein anderes interessantes Detail noch erläutert werden? Welche der vielen zusätzlich verfügbaren Informationen wäre es noch wert, in die Arbeit einzufließen? All diese Fragen konnten oft nicht zufriedenstellend beantwortet werden, wodurch die eine oder andere Arbeit (auch von den Verfasser\_innen selbst) eher einem ungeordneten Flickwerk glich als einer (vor)wissenschaftlichen Arbeit, die einigermaßen klare Aussagen ermöglicht. Als besonders hervorzuheben ist hier wohl auch, dass sich etliche der Probleme wohl auch daraus ergaben, dass oft keine klare Fragestellung am Beginn der Arbeit stand, was seine Ursachen vermutlich auch darin begründet sah, dass es für die Schüler\_innen schwer war, überhaupt eine Frage zu formulieren, die mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden beantwortet werden konnte. Häufig lief das Verfassen der Arbeiten daher oft auf eine Gegenüberstellung der momentan in der Literatur vorgefundenen Positionen und Inhalte hinaus.

## 1.2 Ansatz des vorliegenden Projektes

Den Ausschlag zur Durchführung des Projektes „Fotosynthesizers“ gab die Erfahrung, dass unsere Schüler\_innen in den Naturwissenschaften vielfach – wie oben näher beschrieben – wissenschaftliches Arbeiten dadurch erfüllt sahen, wenn sie möglichst viele Fachtermini in möglichst unverständliche Sätze verpackten. „Wissenschaftlichkeit“ wurde also oft über die äußere Form der Arbeit und über die Erfüllung formaler Kriterien definiert anstatt über die epistemologische Vorgehensweise und die Methodik der Arbeit. Dies konfrontierte uns als Lehrer\_innen mit der Herausforderung, alle Schüler\_innen eines Jahrgangs aber spätestens bis zur Matura auf das Verfassen einer vorwissenschaftlichen Arbeit vorzubereiten. Um also unsere Schüler\_innen in die Lage zu versetzen, tatsächlich eigenständige Untersuchungen durchzuführen und (wenn auch vorwissenschaftliche) Forschung zu betreiben, gilt es, in den nächsten Jahren gezielt Methodenkompetenz aufzubauen und dadurch Handlungsmöglichkeiten zu eröffnen, empirisch zu arbeiten und nicht lediglich Literaturkompilationen als Resultate abzuliefern.

Zu diesem Zweck wurde das für das vorliegende Projekt das Thema „Fotosynthese“ gewählt, da laut den österreichischen Ergebnissen der größten bisher durchgeführten Interessensstudie (Relevance of Science Education - ROSE) (Elster, 2007) die Thematik des Projektes über die leichte Anknüpfbarkeit an aktuelle Themen wie beispielsweise den Klimawandel einerseits das höhere Interesse von Mäd-

chen an Inhalten wie z.B. „Ökosystem Erde“ oder „Licht und Strahlung“ adressiert, andererseits werden spezifisch für Burschen interessante Themenfelder wie „Technik“ und „Botanik“ angesprochen. Daraus abgeleitet ergeben sich die im folgenden Abschnitt formulierten Ziele des Projektes.

## **2 ZIELE**

### **2.1 Ziele auf Schüler\_innenebene**

Die Schüler\_innen erwerben die Kompetenz naturwissenschaftliche Fragestellungen derart zu formulieren, dass diese im Rahmen einer experimentellen Untersuchung bearbeitbar werden. Dazu wird ein kompletter Forschungszyklus von der Formulierung der Forschungsfrage über die Entwicklung einer adäquaten Methodik, der Dokumentation der Messwerte und sonstiger Ergebnisse sowie der Diskussion der Schlussfolgerungen durchgeführt. Die SchülerInnen lernen in diesem Rahmen kooperativ zu arbeiten und ihre unterschiedlichen Vorstellungen zu vereinbaren um schlussendlich zu einem gemeinsamen Ergebnis zu kommen.

Die Schüler\_innen sollen auf diese Art und Weise auch angeregt werden, für ihre vorwissenschaftliche Arbeit verstärkt empirische naturwissenschaftliche Methoden anzuwenden und sich nicht auf reine Literaturarbeiten zu beschränken.

### **2.2 Ziele auf Lehrer\_innenebene**

Die beteiligten Lehrpersonen erwerben selbst erweiterte Fähigkeiten im Umgang mit den Messgeräten und der Auswertungssoftware.

### **2.3 Verbreitung der Projekterfahrungen**

Das Projekt wird im Rahmen des Jahresberichtes und auf der Schulhomepage präsentiert. Darüberhinaus werden Dokumentationsplakate entworfen, die im Schulhaus präsentiert werden. Das Projekt wurde außerdem im Rahmen des IMST-Tages am 11. März 2016 in Form eines Posters präsentiert.

### 3 DURCHFÜHRUNG

Die Durchführung des Projektes erstreckte sich über den Zeitraum von November 2015 bis März 2016.

#### 3.1 Messanordnung

In eine gasdichte Messzelle wurde in Tonsubstrat ein Exemplar der Art *Stellaria media* Gewöhnliche Vogelmiere eingesetzt. Das Tonsubstrat sollte dazu dienen, mögliche Sauerstoffzehrung durch Bodenmikroorganismen zu verhindern. In den Deckel der Messzelle wurde eine Bohrung eingefügt, die

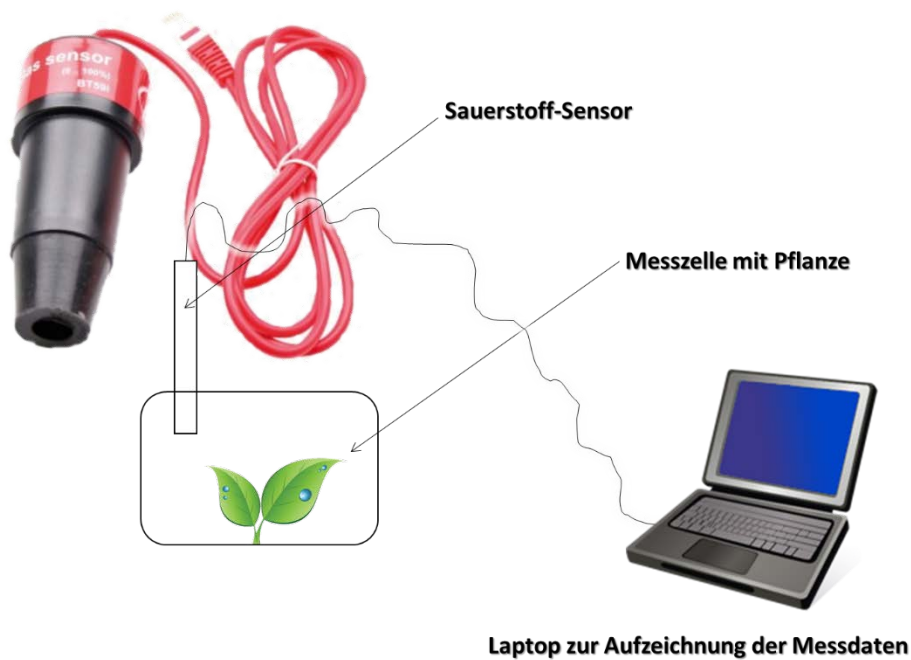


Abbildung 1: Messanordnung (schematisch)



Abbildung 2: Messanordnung mit zwei Messzellen und zwei Sensoren

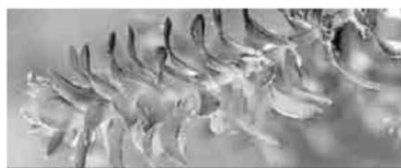
den Sensor dicht umschloss, sodass gebildeter Sauerstoff detektiert werden konnte (s. Abb. 1 & 2).

Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgte automatisch über einen Laptop mit entsprechender Software (CMA Coach 6.7 Lite™).

## 3.2 Projektvorbereitung

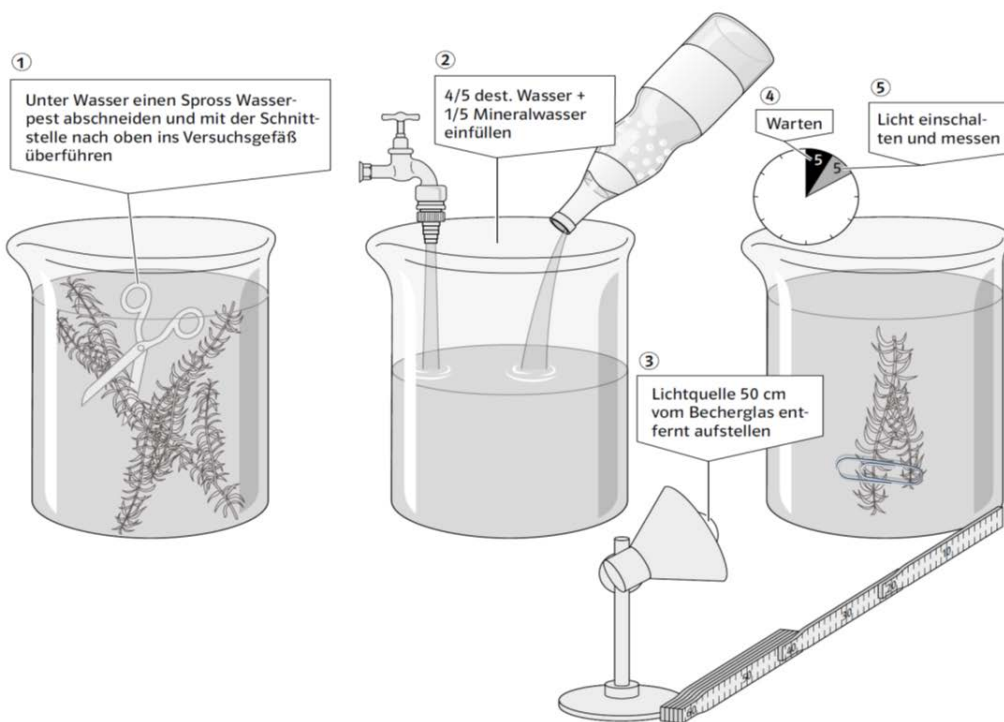
### 3.2.1 Vorversuch mit der 5. Klasse

Um die Schüler\_innen an die Problematik der Untersuchung der Fotosynthese-Aktivität heranzuführen, wurde zuerst ein Vorversuch mit Wasserpflanzen durchgeführt (Aufbau s. Abb. 3). Dabei wurde der Einfluss des Faktors „Licht“ auf die Fotosyntheseleistung der Pflanzen untersucht (drei verschiedene Distanzen, bzw. direkte Bestrahlung oder mit einem Blatt Papier zwischen Lichtquelle und Pflanze).



1 Kanadische Wasserpest

Eine beliebte Aquarien- oder Teichpflanze ist die Wasserpest. Sie ist problemlos zu halten und trägt ihren Namen aufgrund ihres starken und schnellen, fast explosionsartigen Wachstums. Bei Belichtung reichert sie das Wasser mit Sauerstoff an. Sie werden nun mit einem Spross der Wasserpest den Einfluss der Faktoren CO<sub>2</sub>-Gehalt und Temperatur des Wassers auf ihre Fotosyntheseleistung untersuchen.



Markl Biologie. Experimentebuch Oberstufe

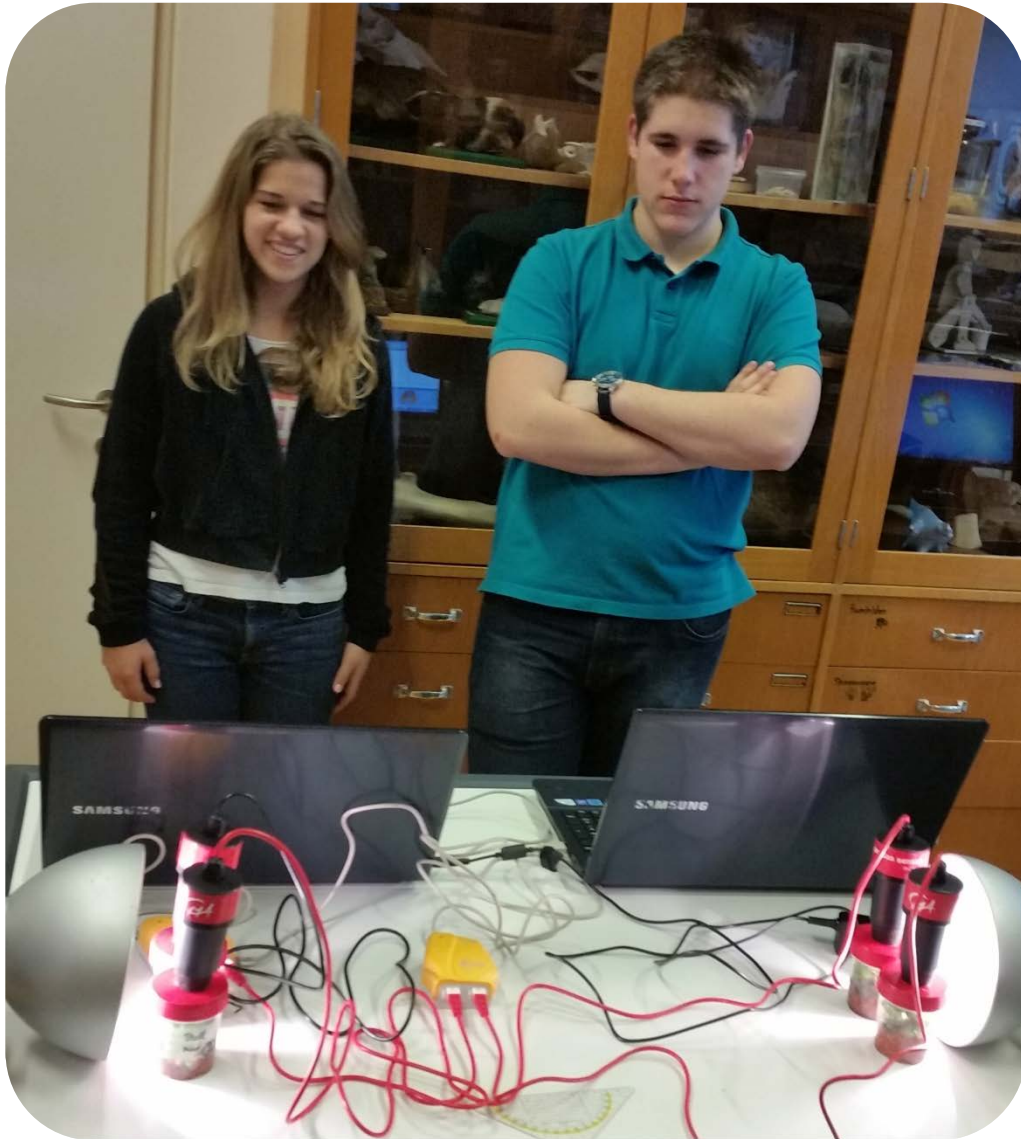
Abbildung 3: Aufbau des Vorversuches

Bei dieser Anordnung werden die Gasbläschen gezählt, die am nach oben gewandten Ende des Elodea-Triebes aufsteigen. Die Schüler\_innen erkannten im Rahmen ihrer Auswertungen rasch, dass hier zwar innerhalb derselben Pflanze annähernde Vergleichbarkeit gegeben ist, aufgrund der unterschiedlichen Bläschengröße jedoch keine Vergleiche zwischen den einzelnen Exemplaren gegeben ist. Dies wäre bei Messung der Produzierten Sauerstoffmenge jedoch sehr wohl gegeben.



### **3.2.2 Vorbereitung der Messanordnung**

Nachdem die Sauerstoff-Sensoren neu angeschafft wurden, musste zuallererst die Handhabung und die notwendigen Einstellungen ausprobiert werden. Zu diesem Zweck wurden Schüler\_innen der 6. und 7. Klassen mit der Aufgabe betraut, eine Kontrollmessung durchzuführen und das Experimentalsetting zu optimieren (s. Abb. 3), damit beim Einsatz der Instrumente im großen Maßstab in der 5. Klasse leicht zu vermeidende Startschwierigkeiten möglichst unterbleiben sollten. Bald war klar, dass der ursprünglich eingeplante Messzeitraum von 15–20 Minuten zu kurz war, um messbare Unterschiede in der Sauerstoffkonzentration in den Messzellen zu detektieren. Die Messungen wurden daher deutlich verlängert (8 Stunden).



*Abbildung 4: vorbereitende Messungen*

Planung und Durchführung der Messungen

Nachdem nun die Messanordnung getestet war, erhielt die 5. Klasse den Auftrag, Hypothesen zu formulieren, welche anderen Faktoren (außer der Lichtintensität) die Fotosyntheseleistung beeinflussen könnten. Vorgeschlagen wurden die Faktoren: CO<sub>2</sub>-Gehalt der Luft, Bodenfeuchte und Temperatur. Nach einer Diskussionsrunde entschied die Gruppe, den Einfluss des CO<sub>2</sub>-Gehalts untersuchen zu wollen.

Zu diesem Zweck wurden die Messzellen mit unterschiedlichen Mengen an CO<sub>2</sub> beimpft (s. Abb. ) und die Messungen über einen Zeitraum von 8 Stunden durchgeführt. Aufgrund der langen Messdauer wurden insgesamt nur 8 Messungen durchgeführt.



Abbildung 5: Anreicherung der Messzellen mit Kohlenstoffdioxid



Abbildung 6: Start der Kontroll-Messungen



Abbildung 7: Start der Messungen mit Kohlenstoffdioxid-Anreicherung

### 3.3 Auswertung der Messungen

Im ersten Schritt wurden die Aufzeichnungen der Sensoren in einem Diagramm dargestellt, das die Veränderung des Sauerstoffgehalts in der Messzelle mit der Zeit zeigt (s. Abb. 8-10). In allen Diagrammen ist ersichtlich, dass sich die einzelnen Pflanzenindividuen in ihrer Sauerstoffproduktion deutlich voneinander unterscheiden und zwar stärker, als ursprünglich angenommen.

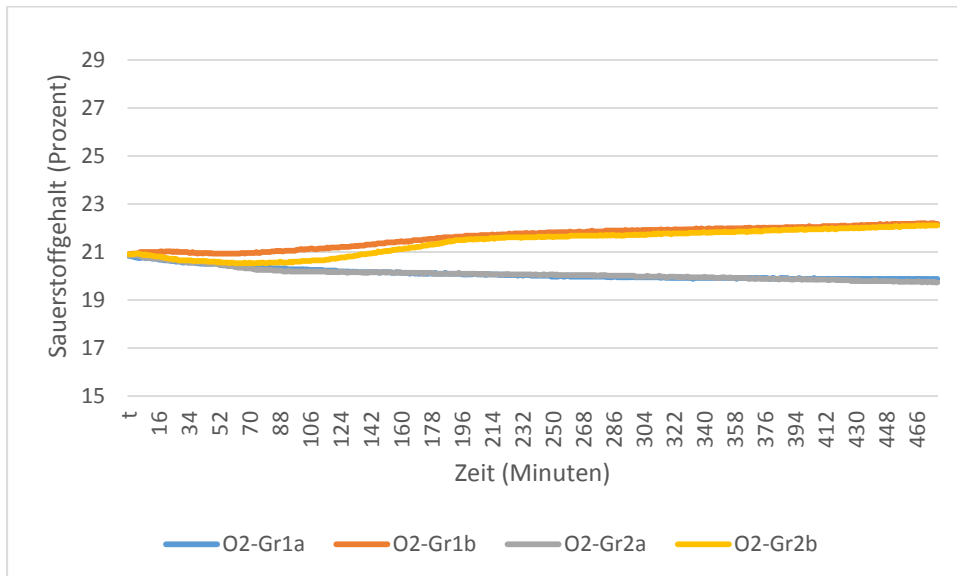


Abbildung 8: Verlauf des O<sub>2</sub>-Gehalts in den vier Kontrollansätzen

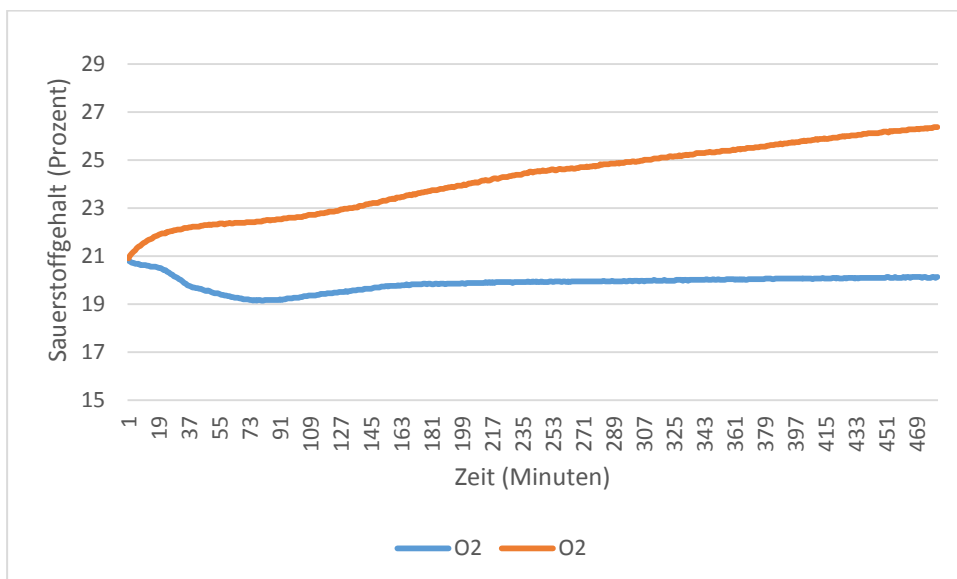


Abbildung 9: Verlauf des O<sub>2</sub>-Gehalts in den zwei Ansätzen mit 0,5 mL CO<sub>2</sub>-Anreicherung

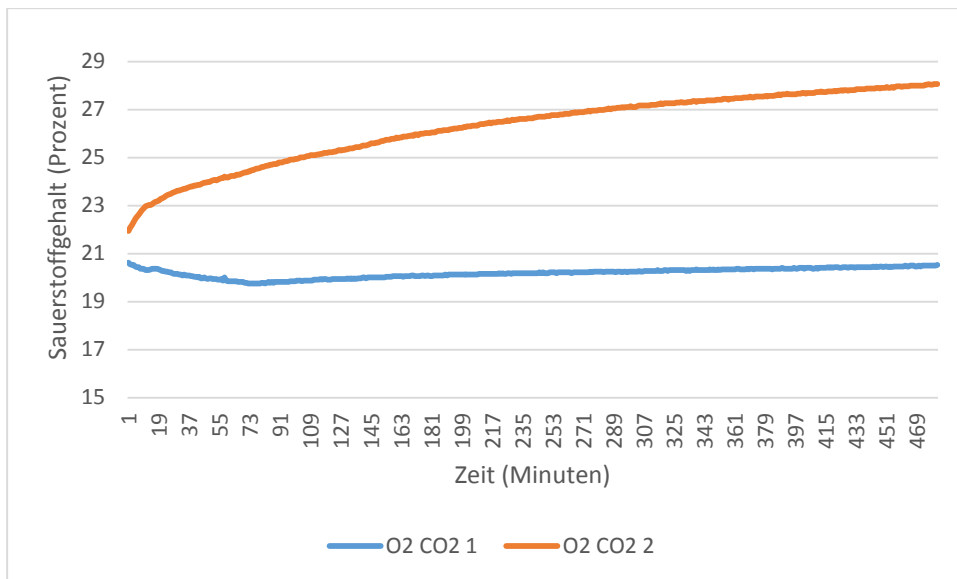


Abbildung 10: zeitlicher Verlauf des O<sub>2</sub>-Gehalts in den zwei Ansätzen mit 1 mL CO<sub>2</sub>-Anreicherung

Zur letztendlichen Auswertung wurde jeweils ein Durchschnittswert zwischen jenen Messungen berechnet, die bei vergleichbaren Bedingungen durchgeführt worden waren. Als Sauerstoffzunahme wurde in die Berechnung jeweils die Differenz zwischen Sauerstoffminimum und -maximum einbezogen (s. Abb. 11). Bei allen Vorbehalten aufgrund der geringen Stichprobenanzahl ist eine Zunahme des Sauerstoffgehalts mit höherer CO<sub>2</sub>-Zugabe erkennbar.

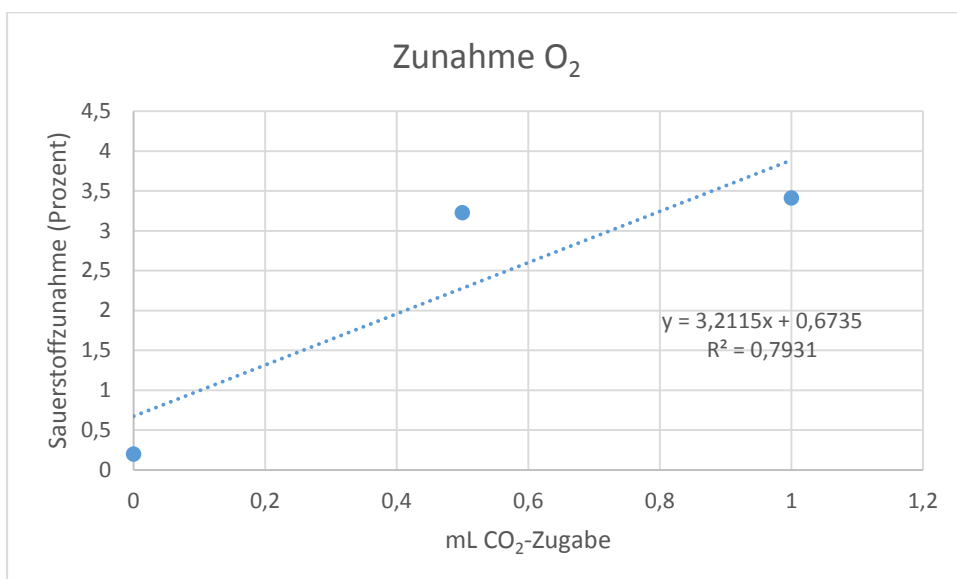


Abbildung 11: Sauerstoffzunahme in Abhängigkeit von der CO<sub>2</sub>-Anreicherung

## 4 EVALUATIONSMETHODEN

Nachdem die Stichprobengröße letztlich auf etwa 30 Schülerinnen und Schüler reduziert wurde, erschien die ursprünglich geplante Evaluation mit Fragebögen nicht mehr als die Methode der Wahl. Bei nur einer Klasse wurde entschieden, dass hier sinnvolle quantitative Auswertungen nicht möglich wären. Daher wurde zur Evaluation nun eine Analyse der Versuchsprotokolle herangezogen. Dabei wurde nach folgenden Kriterien ausgewertet:

- 1.) Beinhaltet das Protokoll alle wesentlichen Teile der Untersuchung (Fragestellung, Material & Methoden, Ergebnisse, Diskussion)?
- 2.) Werden die Ergebnisse in der Diskussion ausreichend und sinnvoll behandelt?
- 3.) Beinhaltet die Diskussion mögliche Fehlerquellen und daraus abgeleitete Verbesserungen für weiterführende Untersuchungen?

Die Protokolle wurden von den Schülerinnen und Schülern in Zweiergruppen verfasst, es wurden 13 Protokolle abgegeben und ausgewertet.

## 5 ERGEBNISSE

### 5.1 Ergebnisse zu den Zielen auf Schüler\_innenebene

Alle abgegebenen Protokolle beinhalten mit Fragestellung, Hypothese, Material & Methoden, Ergebnissen und Diskussion alle wesentlichen Teile der Untersuchung. Um einen Eindruck über die Diskussion der Ergebnisse und die Fehleranalyse zu geben, wurden untenstehende Zitate ausgewählt. Sie repräsentieren die Bandbreite der fertig gestellten Protokolle.

... dass die Messwerte nicht genau sein würden, da die Pflanzen gleich groß sein müssen.

Man müsste mehr Pflanzen, mit strikteren Bedingungen messen, um präzisere Messwerte zu bekommen.

Ein Problem unserer Messungen war, dass die Pflanzen nicht beschriftet waren und wir somit nicht nachvollziehen konnten, welche Pflanze mit wie viel Kohlendioxid von welchem Sensor gemessen wurde, wobei Faktoren wie Größe, Blattzahl und Alter der Pflanze ja auch eine wichtige Rolle bei der Photosynthese spielen und für ein individuell unterschiedliches Ergebnis sorgen. Des Weiteren hätten wir mehr Messungen gebraucht, da uns mehr Messwerte zu einem genaueren Ergebnis geführt hätten, da wir jetzt nur annäherungsweise Werte bekommen haben.

Meiner Meinung nach ist es sehr wichtig genügend Messungen zu machen um den Durchschnittswert zu bekommen.

... um sie wissenschaftlich verwenden zu können, müssten wir mehrere Messungen machen.

Die vier vorbereiteten Pflanzen waren nicht gleich groß, somit waren präzise Messungen nicht möglich.

Für einen besseren Durchschnittswert bräuchte man mehr Messungen.

... Wir mussten leider schon im Voraus feststellen, dass der Versuch wahrscheinlich nicht ganz präzise verlaufen werden würde, weil dafür die Pflanzen hätten genau gleich groß sein müssen, was leider nicht der Fall war.



Die Werte sind natürlich auch nicht Laborreif, sondern Annäherungswerte, aber für unser Niveau ist das schon einmal nicht schlecht. Wir haben gemeinsam auch ein paar Punkte gefunden, die man noch verbessern könnte. Die meisten davon habe ich zwar schon genannt, aber das Wichtigste ist, denke ich, dass man genügend Messungen macht, um einen realistischen Durchschnittswert zu bekommen.

Unsere Vermutung hat sich bestätigt, obwohl die Werte natürlich nicht sehr aussagekräftig waren. Eine Verbesserungsmöglichkeit wäre, mehr Pflanzen zu verwenden und auf die Größe zu achten. Das Experiment war interessant und mich würde noch interessieren, wie stark andere Faktoren die Photosyntheseleistung beeinflussen.

Auch, wenn die Formulierungen an mancher Stelle ein wenig salopp klingen (was dem Alter der Schülerinnen geschuldet sein mag), so ist doch deutlich zu erkennen, dass die Größe der Stichprobe als wesentliches Gütekriterium einer wissenschaftlichen Untersuchung mit hoher Übereinstimmung erkannt wurde. Auch die Vergleichbarkeit der Messungen wurde thematisiert – fest gemacht am Beispiel der Größe der verwendeten Pflanzen, die in dieser Untersuchung nur abgeschätzt wurde und somit nicht hundertprozentig vergleichbar war.

## 5.2 Ergebnisse zu den Zielen auf Lehrer\_innenebene

Durch die Durchführung des Projektes wurde im Lehrerkollegium eine verstärkte Kooperation bezüglich der Verwendung der Sensoren begründet. Alle Biologielehrerinnen und –lehrer sind nun in der Lage, die Sensoren einzusetzen und die Mess-Software zu bedienen, was zu einem häufigeren Einsatz der Sensoren auch im Rahmen anderer Untersuchungen führen wird.

## 6 DISKUSSION/INTERPRETATION/AUSBLICK

Das Projekt „Fotosynthesizers“ war insgesamt eine erfolgreiche Angelegenheit. Die Schülerinnen und Schüler erlangten einen Einblick in den Ablauf einer wissenschaftlichen Untersuchung und erlebten, welche Faktoren das Ergebnis beeinflussen können und dass es durchaus wichtig ist, jedes noch so unwichtig erscheinende Detail zu dokumentieren, da sich erst bei der Auswertung der Daten entscheidet, was wichtig war und was nicht. Außerdem machten sie die Erfahrung, dass für sinnvolle Aussagen immer mehrere Messungen notwendig sind, da einzelne Messwerte starke Schwankungen aufwiesen.

Insgesamt lässt sich aus den Protokollen ablesen, dass vielen Schülerinnen und Schülern bewusst wurde, welche Schwierigkeiten bei der Durchführung von scheinbar simplen Messungen auftreten können und wie man versuchen kann, sie zu vermeiden.

Diesen Zuwachs an Experimentier-Kompetenz konnte man auch bei später durchgeführten Versuchen (Keimungs-Experimente mit Kresse) beobachten. Die Schüler\_innen legten bei späteren Experimenten großen Wert auf die Dokumentation ihrer Versuchsansätze und möglichst konstant gehaltene Begleit-Parameter. Zu bemerken war außerdem, dass die Schüler\_innen bei der Fehleranalyse und dem Entwickeln von weiterführenden Fragestellungen sehr differenziert vorgehen und in der Lage waren, realistische und gut begründete Hypothesen zu entwickeln, weshalb ihre Experimentalergebnisse von ihren Erwartungen abwichen oder sie auch erfüllten.

Diese Experimental-Anordnung mit den zugehörigen Fragestellungen (inkl. Vorversuchen) wird in Zukunft im Rahmen des Faches „Naturwissenschaftliches Labor“ als fixer Bestandteil des Jahresablaufs in das Curriculum eingebaut.

## 7 LITERATUR

Brüning, Ludger, Saum, Tobias, Green, Norm & Green, Kathy (2009). *Erfolgreich unterrichten durch Kooperatives Lernen. Strategien zur Schüleraktivierung. Band 1* (5. überarb.). Essen: NEUE DEUTSCHE SCHULE.

Bundesministerin für Unterricht, Kunst und Kultur (Hrsg.) (2012). Verordnung der Bundesministerin für Unterricht, Kunst und Kultur über die Reifeprüfung in den allgemein bildenden höheren Schulen (Prüfungsordnung AHS). StF: BGBl. II Nr. 174/2012

Elster, Doris (2007). Student interests—the German and Austrian ROSE survey. *Journal of Biological Education*, 42(1), 5–10.

Markl, Jürgen (2011). *Markl Biologie / Experimentebuch Oberstufe: Buch mit CD-ROM*. Stuttgart u.a.: Klett.