

# „Die Fotosynthese verstehen“

- ein lernerorientierter Versuch zum Thema Pflanzenernährung im Biologieunterricht

**Denis Messig – Tanja Zacher – Jorge Groß**

## **Zusammenfassung**

*Die Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen hat sich als ein zentrales Element guten Biologieunterrichts erwiesen. Das grundlegende Thema Fotosynthese wird jedoch anhand klassischer Versuche vermittelt, die kaum auf Alltagsvorstellungen eingehen. Im folgenden Artikel werden die Versuche von van Helmont und Priestley zur Pflanzenernährung auf ihre Wirksamkeit diskutiert. Darüberhinaus wird ein neuer Versuch vorgestellt, der Schülervorstellungen aufgreift und dabei zum Gegenstand der Vermittlung wird.*

## **1 Einleitung**

Die Fotosynthese ist der grundlegende Energiewandlungsprozess in der Biosphäre und somit die Basis der meisten autotrophen und heterotrophen Organismen. Ohne ein adäquates Verständnis dieses komplexen biochemischen Prozesses ist es nicht möglich, wichtige biologische Fragen, wie z. B. nach dem Entstehen von Biomasse, dem Energietransfer in Nahrungsnetzen, den Auswirkungen fossiler Brennstoffe auf den Klimawandel oder den Problemen der Welternährung zu verstehen. Die fachdidaktische Forschung hat allerdings gezeigt, dass Assimilationsprozesse wie die Fotosynthese häufig alltagsweltlich und damit fachlich nicht korrekt verstanden werden. So gaben nur 8 Prozent der von Eisen und Stavy (1988) befragten Biologie Studierenden an (n=188), dass die Energie aus brennendem Holz dem Licht der Sonne stammt. In einer anderen Untersuchung besaßen lediglich 19 Prozent der interviewten 13-Jährigen die Vorstellung, dass durch Fotosynthese Kohlenhydrate synthetisiert werden (Barker & Carr, 1989). Anderson, Sheldon und Dubay (1990) fanden heraus, dass 98 Prozent der Studierenden der Meinung waren, Pflanzen nehmen ihre Nahrung aus der Umgebung auf. Aus dieser Problematik heraus generiert sich die Fragestellung, worin die Lernhürden bei der Vermittlung von Assimilationsvorgängen in einem schulischen Kontext bestehen. Denn trotz einer starken curricularen Verankerung wird das Prinzip und die Bedeutung der Fotosynthese in der Schule nur in Ansätzen verstanden.

## **2 Schülervorstellungen zur Fotosynthese**

Warum ist es so schwierig die Prozesse der Fotosynthese zu verstehen? Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (TeV) liefert dazu mögliche Antworten. Nach der TeV lernt jedes Individuum aus den eigenen Erfahrungen heraus (Lakoff & Johnson, 2007). Diese basalen Erfahrungen sind direkt verständlich, da sie als Interpretation der Wirklichkeit als real angesehen werden. Man nennt solche Erkenntnisse verkörperte Vorstellungen (Gropengießer, 2007). Beispielsweise entsteht das sogenannte „Behälterschema“ aus der Differenzierung des eigenen Körpers in innen und außen. Diese verkörperte Vorstellung erwächst aus dem Prozess der menschlichen Ernährung, weil die Aufnahme von Nahrungsstoffen direkt erfahrbar ist (Groß, 2007). Nach der TeV werden nun Prozesse, die von einem Individuum nicht direkt erfahrbar sind, wie z. B.

die Ernährung bei Pflanzen, mit Hilfe solcher verkörperten Vorstellungen metaphorisch abstrahiert. Nur auf diesem Weg kann das kognitive System eines Lernenden zu einem Verständnis von imaginativen Sachverhalten gelangen. In unserem Fall übertragen SchülerInnen verkörperte Vorstellungen der eigenen Ernährung auf die der Pflanzen. Aufgrund ihrer Alltagserfahrungen entstehen typische Schülervorstellungen, die stark von denen der Fachwissenschaftler abweichen und diesen widersprechen können.

Befragt man Lernende nach der Ernährungsweise von Pflanzen, so bekommt man sehr oft die Antwort: Die Pflanze ernährt sich von Stoffen aus dem Boden, Wasser und Licht (Anderson et al., 1990). Aus der Erfahrung heraus werden Ackerflächen gedüngt, Zimmerpflanzen regelmäßig gegossen und Pflanzen ans Fenster gestellt, damit sie wachsen und gedeihen können. Ausgehend von den Erfahrungen am eigenen Körper, wird Nahrung daher alltagsweltlich als die Summe aller „Stoffe“ (Licht wird ebenfalls von Lernenden als Substanz betrachtet) verstanden, die von außen nach innen in die Pflanze gelangen. Die autotrophe Assimilation von anorganischem Kohlenstoff zu Glukose und anderen sekundären Stoffwechselprodukten wie Proteinen, Fetten und Polysacchariden fehlt in dieser Vorstellung gänzlich. Lernende wissen häufig, dass Pflanzen Kohlenstoffdioxid aufnehmen, allerdings nur, um den für uns Menschen lebensnotwendigen Sauerstoff daraus herzustellen. Dieser Anthropomorphismus fördert in keiner Weise eine fachwissenschaftliche Sicht der Kohlenstoffassimilation durch die Pflanze, sondern verstärkt vielmehr die Vorstellung, dass chemische Stoffe in andere chemische Substanzen umgewandelt werden können. Aufgrund der scheinbaren Plausibilität und den grundlegenden verkörperten Vorstellungen haben sich solche Schülervorstellungen als sehr veränderungsresistent erwiesen und bleiben, sofern sie nicht im Unterricht erhoben, thematisiert und in einer konstruktivistischen Lernumgebung verändert werden, weitestgehend bestehen.

Um das Prinzip der Fotosynthese im Unterricht daher fruchtbar vermitteln zu können, gilt es, Schülervorstellungen zu kennen und diese nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1998) in die Didaktische Strukturierung des Unterrichts einfließen zu lassen. Viele Biologielehrer nutzen in diesem Zusammenhang klassische Versuche in ihrem Unterricht, um das Prinzip der Fotosynthese zu veranschaulichen. Im Folgenden werden zwei dieser klassischen Versuche zur Pflanzenernährung diskutiert. Dabei geht es um die Frage, ob fachlich falsche Schülervorstellungen aufgegriffen und gegebenenfalls noch verstärkt werden und ob diese klassischen Versuche das Potential für einen Konzeptwechsel hin zu einer ~~fachwissenschaftlicheren~~ Sichtweise haben.

### 3 Klassische Versuche im Diskurs

#### 3.1 von Helmonts Weidenschössling

Um 1600 führte der niederländische Wissenschaftler Johann Baptist van Helmont einen Versuch zur Pflanzenernährung durch, um Aristoteles Humustheorie zu überprüfen (Abb. 1). Diese besagte, dass Pflanzen sich ausschließlich über organische Materie im Boden ernährten.

Als Erklärung führte Helmont interessanterweise die gleiche Überlegung



Abb.1: van Helmonts Versuch mit Weidenschösslingen. Die Pflanze mit ihrem Substrat wurde gewogen, 5 Jahre lang gegossen und danach erneut die jeweiligen Massen bestimmt. Grafik: Jürgen Wirth, Natura 7-10, Ernst Klett Verlag Stuttgart, 2002.

an, zu der auch SchülerInnen heutzutage gelangen. Die von unserer Arbeitsgruppe durchgeführten Vermittlungsexperimente zeigen, dass viele der befragten SchülerInnen den Massezuwachs nicht mit Hilfe der Kohlenstoffassimilation in Folge der Fotosynthese erklären, sondern das Wachstum auf das zugegebene Wasser zurückführen. So gab z. B. Sophia (Klasse 9, Gymnasium) an, dass die Gewichtszunahme „*nicht durch die Erde, sondern aus dem zugegebenen Wasser und den darin gelösten Mineralstoffen*“ zu erklären ist. Diese Überlegung erscheint im Kontext der TeV zwingend zu sein, da Nahrung als die Gesamtheit aller aufgenommenen Stoffe verstanden wird. Damit kann der Massezuwachs aus Sicht der SchülerInnen plausibel verstanden werden. Weder die Idee der Wassertranspiration, noch der essentielle Gasaustausch, der zum Aufbau von Kohlenhydraten führt, ist dafür notwendig. Diese Sachverhalte werden trotz einer unterrichtlichen Thematisierung nicht in die Schülervorstellung eingebaut, weil subjektiv gesehen dazu keine Notwendigkeit besteht. Als Konsequenz für den Unterricht ergibt sich, dass die Auswertung des van-Helmont Versuchs nicht mit der Feststellung, der Baum erhält seine Biomasse nicht primär aus seinem Bodensubstrat, aufhören darf. Dies würde dazu führen, dass fachlich falsche Vorstellungen wie die Nahrungsaufnahme über den Boden verstärkt werden würden. Der Versuch könnte sich daher als kontrainduktiv auf den Lernprozess der Schüler auswirken. Die Eruierung grundlegender Prozesse, wie der Gasaustausch und die autotrophe Kohlenstoffassimilation, sind aus diesen Gründen für ein wissenschaftlicheres Verständnis unabdingbar.

### 3.2 Priestleys Glasglockenversuch

LehrerInnen kennen diese Lernhürde und begegnen ihr in der Regel mit Priestleys Versuchen zum Gasaustausch: Joseph Priestley untersuchte 1771 den Gasaustausch von Mäusen und Pflanzen (Abb. 2). Er erkannte dabei, dass Pflanzen die Luft „verbessern“ und damit das Überleben einer Maus innerhalb eines abgeschlossenen Behälters ermöglichen können. Priestleys Versuch stellt die Grundlage der späteren Fotosyntheseforschung dar.

Der Ansatz verdeutlicht, dass photoautotrophe Organismen den für die oxidative Dissimilation notwendigen Sauerstoff bereitstellen. Weiterhin dient das durch die Zellatmung entstandene Kohlenstoffdioxid als Edukt für die Kohlenstoffassimilation der Pflanzen. Im Gegensatz zu dieser fachwissenschaftlichen Deutung verstehen die in unseren Vermittlungsexperimenten befragten SchülerInnen den Versuch häufig anders. Der Einsatz des Priestley Experiments hatte folgende Implikationen: 1. Die Vorstellung, dass Sauerstoff in Kohlenstoffdioxid und umgekehrt umgewandelt werden kann, wird durch den angedeuteten Kreislauf verstärkt. 2. Der Pflanze wird eine anthropomorphe Bedeutung zugeschrieben, da sie scheinbar in Absicht Tieren den überlebensnotwendigen Sauerstoff bereitstellt. 3. Das Konzept der Inversen Respiration wird gefördert: Hierbei wird die Fotosynthese als eine in umgekehrter Richtung ablaufende Zellatmung verstanden. Das hat zur Folge, dass die Lernenden Pflanzen als rein assimilatorische Lebewesen ohne Zellatmung verstehen können. Heterotrophe und autotrophe Organismen stellen somit Antagonisten dar, die sich gegenseitig bedingen.

Ohne die Erkenntnis, dass Tiere und Pflanzen durch den Stoffwechselprozess der Zellatmung energiereiche Nährstoffe für ihren Stoff- und Energiewechsel dissimilieren,

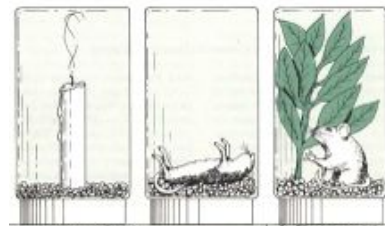


Abb.2: Priestleys Versuche mit Mäusen und Pflanzen in geschlossenen Behältern. Links: Kerze erlischt; mitte: Maus erstickt; rechts: Pflanze und Maus überleben

kann die Bedeutung der Fotosynthese, d. h. der Aufbau von energiereichen Assimilaten, nicht erfasst werden. Folglich sollte die Fotosynthese nicht als Ernährungsprozess, sondern als nahrungserzeugender Prozess vermittelt werden, der Grundlage für katabole Stoffwechselforgänge bei (fast) allen Organismen ist.

Der Priestley Versuch eignet sich daher nur bedingt für den Einsatz im Unterricht, da er alltagsweltliche Vorstellungen wie die anthropomorphe Pflanze, die Umwandlung chemischer Elemente und die Inverse Respiration zu fördern scheint. Ein Versuch der gezielt Fotosynthese und Zellatmung bei Pflanzen mit einander verknüpft wäre in diesem Zusammenhang eine sinnvolle Alternative.

#### **4. Der Nachweis von Assimilations- und Dissimilationsprozessen bei Wasserpest mit Bromthymolblau**

##### 4.1 Überblick

Der von uns entwickelte Versuch hat das Ziel, die Pflanze als assimilatorisches und dissimilatorisches System zu verstehen und damit die Grundlage für ein nachhaltiges Verständnis der Fotosynthese zu schaffen. Er fokussiert auf das abstrakte Konzept der Kohlenstoffdioxidaufnahme, welches ein zentraler Schlüssel zum Verständnis der Kohlenstoffassimilation ist. Der Versuch eignet sich als Einstiegsexperiment in den Lernbereich Pflanzenernährung für die Sekundarstufe I und II.

##### 4.2 Fachwissenschaftlicher Hintergrund

Gegenstand des Versuchs ist die in der Praxis häufig eingesetzte Wasserpest *Elodea canadensis* und ihr Einfluss auf den pH-Wert des sie umgebenden Wassers. Als Pflanze ist die Wasserpest in der Lage im Beisein von Licht fotosynthetisch aktiv zu werden. Dazu nimmt sie Kohlenstoffdioxid während der Belichtungszeit auf, was zu einer pH-Wert Erhöhung des wässrigen Milieus führt. Diese Veränderung kann mit Hilfe eines Indikators anhand eines Farbumschlags sichtbar gemacht werden. Hierbei bietet sich der Indikator Bromthymolblau an, der bei einem pH-Wert von 5,8 – 7,6 von gelb nach blau umschlägt. Eine neutrale Lösung (pH = 7) ist grün gefärbt. Die pH-Wert Erhöhung und damit ein Farbumschlag kann innerhalb von 30 Minuten sichtbar gemacht werden. Im Gegensatz zu Versuchen mit Indigoblau wird nicht der Sauerstoff, sondern das Kohlenstoffdioxid in den Mittelpunkt gestellt. Darüberhinaus kann der Versuch neben den assimilatorischen auch die dissimilatorischen Prozesse sichtbar machen: Wird der Ansatz für mindestens 12 Stunden abgedunkelt, so senkt sich der pH-Wert der Lösung aufgrund der kontinuierlich ablaufenden Zellatmung (Abb. 3). Diese Veränderung kann als Farbumschlag von blau nach gelb sichtbar gemacht werden.

Es gilt zu beachten, dass die Zellatmung zu jeder Zeit, also auch während der Belichtungsphase, abläuft. Die

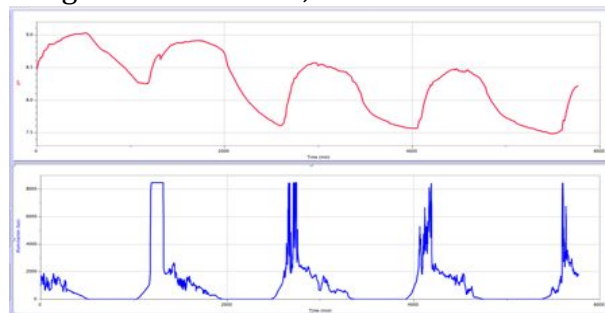


Abb.3: pH- und Illuminationskurve mittels pH-Sonde und Luxmeter über 4 Tage mit Lichtphasen (pH-Absenkung) und Dunkelphasen (pH-Erhöhung) (Auswertung mit LabQuest 2)

Die Fotosyntheserate im Licht übersteigt jedoch die der Zellatmung deutlich, so dass die beobachteten pH-Wert Schwankungen erst entstehen können. Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, bedarf es für eine pH-Wert Erhöhung in Folge einer Belichtung demnach viel weniger Zeit als für das Absinken während einer Dunkelphase, um den gleichen Betrag.

### 4.3. Materialien

Für den Versuch werden folgende Materialien benötigt:

- 2 Erlenmeyerkolben 100ml
- Wasserpest *Elodea canadensis*
- Bromthymolblau-Lösung
- Overhead-Projektor
- Klebeband, Stopfen
- leicht saure oder basische Lösung

### 4.4 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Versuchs ist für eine Unterrichtsstunde ausgelegt und bedarf nur einer geringen Vorbereitung. Zuerst bringt man einige Stücke der zuvor mit Leitungswasser gereinigten Wasserpest in einen der Erlenmeyerkolben. Danach gibt man die Bromthymolblau-Lösung dazu. Die Lösung sollte idealerweise einen pH-Wert von 6-7 aufweisen (gelb-grünlich), damit auch geringe pH-Konzentrationsänderung schnell durch einen Farbumschlag sichtbar werden. Hierzu empfiehlt es sich mit einer leicht sauren oder basischen Lösung den pH-Wert vorher einzustellen. Als Kontrolle füllt man einen zweiten Erlenmeyerkolben mit Indikatorlösung aber ohne Wasserpest. Beide Kolben werden luftdicht mit Stopfen oder Klebeband verschlossen und danach werden beide Gefäße für 30-45 Minuten (je nach verfügbarer Unterrichtszeit) auf einen OHP als Lichtquelle gestellt. Durch die intensive Beleuchtung verändert sich der pH-Wert und somit die Färbung der Indikatorlösung (Abb.4).



Abb.4: Bromthymol-Lösungen im Licht nach 0min (a) und 30min (b). links: Lösung mit Elodea und pH-Sonde; mitte: Lösung mit Elodea; rechts: Lösung ohne Elodea (Kontrolle). pH-Wert Anstieg von 6,54 (a) auf 6,91 (b).



Wird der Versuch für mindestens 12 Stunden abgedunkelt, färbt sich die Indikatorlösung durch die CO<sub>2</sub>-freisetzung von blau nach gelb (Abb. 5). Die Zellatmung kann somit in der darauffolgenden Unterrichtsstunde thematisiert werden.

Abb.5: Bromthymol-Lösungen (Abb.4b) nach 24h im Dunkeln. links: Lösung mit Elodea; rechts: Lösung ohne Elodea (Kontrolle).

## 5 Diskussion

Um das Prinzip der Photosynthese lernerorientiert zu vermitteln, ist es wichtig Alltagsvorstellungen im Unterricht aufzugreifen und diese mit Hilfe geeigneter Interventionen zu verändern. Erste Ergebnisse der von uns durchgeführten



Interviewstudien zeigen, dass klassische Experimente (van Helmont, Priestley) die zentralen Lernhürden zum Verstehen der Pflanzenernährung nicht überwinden können, da sie in einem historischen Kontext entstanden sind und somit nicht unreflektiert im Unterricht eingesetzt werden können.

Der hier vorgestellte Versuch führt über die klassischen Versuche von van-Helmont und Priestley hinaus und bietet die Möglichkeit, assimilatorische und dissimilatorische Prozesse anhand der Wasserpest *Elodea canadensis* nachzuweisen. Klassische Versuche greifen oft Schülervorstellungen (Nahrung aus dem Boden, Umwandlung von CO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub>, Inverse Respiration) auf und verstärken diese unter Umständen. Der geschilderte Versuch bietet eine Alternative zu diesen klassischen Versuchen, da er Schülervorstellungen berücksichtigt, indem er diese in Frage stellt. So macht er den nur indirekt beobachtbaren Prozess der Kohlenstoffassimilation visuell erfahrbar. Schülervorstellungen wie Sophias Annahme, der Baum ernähre sich über Bodenstoffe, werden hinterfragt und hin zu einer fachlich adäquateren Antwort verändert, die die Aufnahme und Akkumulation von Kohlenstoff in der Pflanze beinhaltet. Darüberhinaus kann mit Hilfe dieses Versuchs neben der Assimilation auch der dissimilatorische Prozess der Zellatmung veranschaulicht werden. Das wiederum bietet die Möglichkeit Pflanzen als katabole Lebewesen zu verstehen und dem Konzept der Inversen Respiration entgegenzuwirken.

## 6 Literatur

- Anderson, C. W., Sheldon, T. H. & Dubay, J. (1990): The effects of instruction on college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 761-776.
- Barker, M. & Carr, M. (1989). Teaching and learning about photosynthesis. Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(1), 41-44.
- Eisen, Y. & Stavy, R. (1988). Students' understanding of photosynthesis. *The American Biologie Teacher*, 50(4), 208-212.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Berlin: Springer, 105-116.
- Groß, J. (2007). *Biologie verstehen: Wirkungen außerschulischer Lernorte*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum (Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 16).
- Kattman, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftliche Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3) 3-18.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2007): *Leben in Metaphern. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern*. 5. Aufl. Heidelberg: Carl-Auer.

## 7 Darstellung der Autoren

Prof. Dr. Jorge Groß, [jorge.gross@uni-bamberg.de](mailto:jorge.gross@uni-bamberg.de), leitet die Didaktik der Naturwissenschaften an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg. Neben mehreren fachdidaktischen Forschungsprojekten zum Thema ist er ebenso als Schulbuchautor tätig.

Denis Messig, [denis.messig@uni-bamberg.de](mailto:denis.messig@uni-bamberg.de), unterrichtet am Franz-Ludwig-Gymnasium in Bamberg die Fächer Biologie, NuT und Englisch. Darüberhinaus ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg und forscht als Promovend zum Thema Pflanzenernährung.

Tanja Zacher, [tanja.zacher@uni-bamberg.de](mailto:tanja.zacher@uni-bamberg.de), ist technische Assistentin an der Didaktik der Naturwissenschaften im Noddack-Haus der Otto-Friedrich-Universität Bamberg und unterstützt die fachdidaktische Lehre insbesondere durch schulorientierte Entwicklungsarbeit.