

Der tropische Regenwald

Eine Aufgaben-gestützte Modellierung von Stoffumsätzen

Von Lutz Stäudel

Foto: Ulke Horczakowski

Der Augenschein bzw. das alltägliche Denken liegen oft Schlüsse nahe, die genauer Überprüfung nicht standhalten. So mag man glauben, dass eine Elektroheizung besonders umweltfreundlich wäre, weil sie kein CO_2 produziert; sobald man aber die Betrachtungsweise vom Einzelphänomen zum System hin verändert, in das dieses Phänomen eingebettet ist, wird der Irrtum sichtbar: Bei der Erzeugung des notwendigen elektrischen Stroms (genauer: bei der Umwandlung von chemischer in elektrische Energie via thermische Energie) treten nicht nur hohe Verluste durch Restwärme auf, es entstehen notwendigerweise auch die entsprechenden Mengen CO_2 sowie weitere Abgase.

In welcher Weise man das entsprechende System modellieren muss, um zu einer gültigen Aussage zu gelangen, ist fallweise sehr verschieden. Manchmal, wie im Fall der nachfolgend beschriebenen Regenwald-Beispiele, reicht aber bereits eine einfache chemische Gleichung als Grundlage für eine Modellierung.

Der Gegenstand

Die Bedeutung der tropischen Regenwälder ist mit der Diskussion über Naturschutz, Umweltzerstörung und mit den Vorstellungen vom globalen Denken und lokalem Handeln immer mehr ins

Bewusstsein der Öffentlichkeit gelangt. Erwachsene wie Jugendliche nennen auf Nachfrage im Zusammenhang mit dem Regenwald spontan

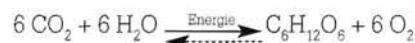
- Artenvielfalt
- Reservoir für Rohstoffe und Wirkstoffe
- Bedeutung für das Weltklima
- der Regenwald als wichtiger Sauerstofflieferant.

Das letztgenannte Argument kann mittels einer geeigneten Modellierung zumindest relativiert werden.

Erste Annäherung

Mit Schülerinnen und Schülern am Ende der Mittelstufe oder in der Oberstufe nähert man sich diesem nicht ganz einfachen Vorhaben am leichtesten mittels grafischer Veranschaulichungen, erarbeitet im gemeinsamen Unterrichtsgespräch. Die Aussage, dass der Regenwald Sauerstoff liefert, wird in ein Schema

ähnlich der **Abbildung 1** umgesetzt. Mit der Frage „Was brauchen die grünen Pflanzen, damit sie Sauerstoff produzieren können?“ aktiviert man das Vorwissen über die Fotosynthese. Entsprechend ergänzt entsteht **Abbildung 2**. Schülerinnen und Schüler nennen an dieser Stelle regelmäßig die Sonne als Energielieferantin für die Fotosynthese wie auch die Aufnahme von CO_2 aus der Luft. Eher selten kommt von Schülerseite hier bereits die Fotosynthese Gleichung, jedoch wird sie auf Nachfrage durch die Lehrkraft meist rasch erinnert und kann an der Tafel reproduziert werden:



Anhand der ausformulierten Reaktionsgleichung werden die vorherigen Aussagen über die Vorgänge in den grünen Pflanzen vervollständigt:

- Es wird zusätzlich Wasser benötigt
- Kohlenhydrate entstehen.

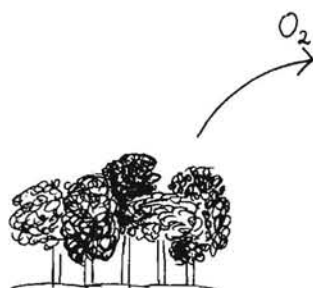


Abb. 1: Der Regenwald als Sauerstofflieferant

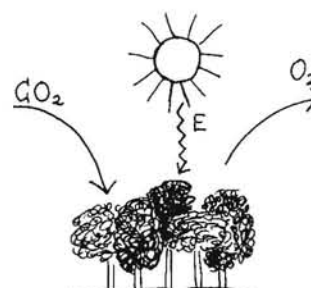


Abb. 2: Erweiterung der ersten Aussage

Die Aufgabe

Bezugnehmend auf die Ausgangsfrage erläutert die Lehrkraft, dass man mithilfe der Fotosynthesegleichung gewissermaßen den Regenwald als Ganzes, als System, beschreiben kann und dass aus der chemischen Gleichung weitgehende Schlussfolgerungen gezogen werden können. Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler entsprechende Schlussfolgerungen in Partner- bzw. Gruppenarbeit (je nach Bedingungen der Lerngruppe, Klassenstärke etc.) selbst erarbeiten. Sie erhalten dazu, neben der Fotosynthesegleichung, folgenden schriftlichen Arbeitsauftrag: „Entwickelt für die Fotosynthese im Regenwald ein vollständiges Schema unter Berücksichtigung der bekannten Fotosynthesegleichung. Stellt euer Ergebnis anschließend vor der Klasse vor.“

Die Ergebnisse entsprechen meist den Erwartungen (Abb. 3). Unterschiede gibt es hauptsächlich bei der grafischen Ausgestaltung. Eine interessante Diskussion entspinnt sich möglicherweise um die

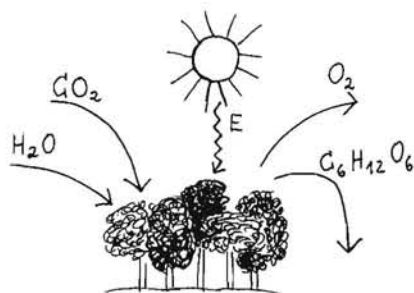


Abb. 3: Vervollständigung der ersten Aussage

Frage, ob das benötigte Wasser vollständig aus „der Luft“ kommt oder ob man den Boden als Zwischenspeicher berücksichtigen müsse. Ebenfalls Gesprächsanlass bietet die Frage, ob „ $C_6H_{12}O_6$ “ eine angemessene Darstellungsform des Fotosyntheseproduktes darstellt. Für das Primärprodukt ist die Charakterisierung als Zucker jedoch sicher passend, wenn man dabei die vielfältigen Formen mit bedenkt, die Ergebnis weiterer Umwandlungen in den Pflanzen sind, insbesondere Stärke und Zellulose als Hauptprodukte.

In verallgemeinerter Form kann das Schema auch aussehen wie in **Abbildung 4** dargestellt.

Bevor man mit diesem Schema und dem Arbeitstext (s. Kasten) weiter arbeitet, ist es unbedingt erforderlich, (sich



Abb. 4: Schema für die Fotosynthese im Regenwald

und) der Klasse die Ausgangsfrage wieder ins Gedächtnis zu rufen, nämlich, inwiefern „der Regenwald“ zur Sauerstoffversorgung der Erde beiträgt.

Arbeiten mit dem Modell

Da das Schema mittels einer chemischen Gleichung erstellt wurde, lassen sich unmittelbar stoffliche Zusammenhänge und auch Massenverhältnisse daraus ableiten. Insbesondere kann man die Menge des gebildeten Sauerstoffs in Beziehung setzen zur entstandenen Biomasse:

Für jedes Molekül Zucker entstehen genau 6 Sauerstoffmoleküle. Wenn es demnach gelingt, die Biomassenproduktion (für eine bestimmte Einheitsfläche) des Regenwaldes abzuschätzen, dann kann man auch eine Aussage über seine Rolle als Sauerstoffproduzenten machen.

Schülerinnen und Schüler erhalten jetzt den Arbeitstext zum Regenwald (s. **Arbeitsblatt 1**) mit der Maßgabe, aus diesem Text Informationen über die Biomassenbilanz zu gewinnen. Je nach Jahrgangsstufe können mehr oder weniger detaillierte Leitfragen zur Textbearbeitung gestellt werden.

Der Aufgabentext für diese Phase kann z. B. lauten:

„Die Sauerstoffproduktion von grünen Pflanzen lässt sich abschätzen, wenn man weiß, wie viel Biomasse bei der Fotosynthese entsteht. Entscheidet auf dieser Basis, ob die Vermutung 'der Regenwald ist ein Netto-Sauerstoff-Produzent' zutrifft. Arbeitet dazu den Info-Text zum Regenwald durch.“

Als Arbeitsform bietet sich eine Art Expertenpuzzle an, bei dem nach erfolgter Durcharbeitung des Textes zunächst Zweiergruppen, dann Vierergruppen und ggf. Achtergruppen gebildet werden, die schließlich eine gemeinsame Aussage formulieren und vorstellen können. Dieses Verfahren hat sich bei ähnlich schwierigen Fragestellungen gut bewährt, da die Lernenden zunächst im Dialog das

unerwartete Ergebnis diskutieren und etwaige Zweifel ausräumen können. In der größeren Gruppe kann dann eine prägnante Aussage entwickelt werden, die den noch existierenden Gegenargumenten standhält.

Im folgenden Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse zusammengetragen:

- Die Sauerstoff-Produktion ist gekoppelt mit dem Biomasse-Zuwachs.
- Im Regenwald bleibt die Biomasse in der Summe mehr oder weniger konstant. Ursache dafür ist ein begrenztes Angebot an Mineralstoffen.
- Absterbende Biomasse wird schnell wieder abgebaut und zersetzt, also im Endeffekt mineralisiert. Die wieder verfügbaren Mineralstoffe werden beim Aufbau neuer Biomasse „aufgezehrt“.
- Bei diesem Abbau wird in der Summe etwa so viel Sauerstoff „verbraucht“ wie zuvor parallel zur Biomassebildung freigesetzt worden ist.
- Der Regenwald ist somit kein Netto-Sauerstoff-Produzent!

Zur Unterstützung der These, dass beim Abbau von Biomasse insgesamt ebenso viel Sauerstoff verbraucht wird, wie beim Aufbau entsteht, kann man die Fotosynthese-Gleichung rückwärts als Verbrennungs-Gleichung interpretieren.

Auch dieser Schritt ist keineswegs selbstverständlich. Insbesondere werden naturwissenschaftlich bewanderte Schülerinnen und Schüler hier einwenden, dass es ja auch einen anaeroben Abbau (etwa in Kläranlagen und bei Faulungsprozessen) gäbe. Auch hier hilft die Anwendung der systemischen Betrachtung, die den Blick auf die Gesamtprozesse ermöglicht (etwa: als Produkt anaerober Prozesse entsteht – wie bei aeroben – z. B. Biomasse in Form von Bakterien, nach deren Absterben geht diese Biomasse in den aeroben Abbau ein usw.). Die einzig bekannten Senken für Kohlenstoffverbindungen sind die erdgeschichtliche Bildung von Erdöl, Erdgas und Kohle, sowie die Bildung von Carbo-

Methodische Alternative

In Oberstufenkursen und in Mittelstufenklassen, in denen die Formen naturwissenschaftlichen Arbeitens bereits über längere Zeit thematisiert worden sind, kann man den Schülerinnen und Schülern gegebenenfalls einen größeren Teil des Modellierungsprozesses überantworten. Diese alternative Vorgehensweise soll hier nur stichpunktartig skizziert werden:

- Vergewisserung über die Ausgangsfrage „Ist der tropische Regenwald ein Netto-Sauerstoff-Produzent?“
- Wenn man die Sauerstoffproduktion eines so großen Gebietes nicht „messen“ kann, welche anderen Möglichkeiten zur Abschätzung stehen zur Verfügung?

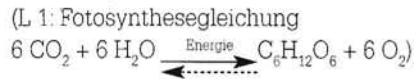
Für die anschließende Arbeit in Gruppen wird eine Aufgabe mit gestuften Lernhilfen ausgegeben.

Arbeitsauftrag

Entwickelt ein Modell für die Sauerstoffproduktion des tropischen Regenwaldes, aus dem man eine Aussage ableiten kann, ob er mehr verbraucht als produziert oder umgekehrt.

Hilfe 1

Welches ist die zentrale Reaktion, bei der Sauerstoff in einem Wald gebildet wird? Wie lautet die zugehörige (chemische) Gleichung?



Hilfe 2

Wandle die Fotosynthesegleichung in ein Schema um!

(L 2: siehe Schema 4)

Hilfe 3

Was weißt du über den massenmäßigen Zusammenhang der Edukte und der Produkte?

Hilfe 4

In welchem Verhältnis entstehen $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ und O_2 ; wie kann man also die Sauerstoffmenge indirekt messen?

Mit dem erhaltenen und diskutierten Schema fährt man dann fort wie oben beschrieben.

naten wie Muschelkalk, die aber für die aktuelle Betrachtung keine Rolle spielen.

Abschließend und zur Sicherung des Erarbeiteten kann man den Schülerinnen und Schülern als Hausaufgabe aufgeben, ein revidiertes Schema für die Fotosynthese-Vorgänge des Regenwaldes zu erstellen. Die wichtigste Erfahrung, die sie dabei machen, ist, dass die Regenwälder zwar keine Netto-Produzenten von Sauerstoff oder Biomasse sind, dass sie aber sehr wohl eingebettet sind in den globalen Stoffwechsel zwischen Atmosphäre und Biosphäre, dessen Motor die Sonne ist (Abb. 5).

Relativierungen

Nicht alle Regenwälder wachsen auf extrem nährstoffarmen Böden. Die hier abgeleiteten Aussagen treffen nur für Regenwälder ähnlich dem amazonischen zu. Auch bei der Bewertung des erlangten Ergebnisses muss man differenzieren: Die Tatsache, dass Regenwälder keine Netto-Sauerstoffproduzenten sind, sprechen nicht dafür, dass man dem gegenwärtigen Raubbau tatenlos zusehen sollte. Abgesehen von ihrer Bedeutung als Klimaregulatoren und als artenreiche Biotope ist ihre Existenz auch eindeutig mit

dem globalen Kohlenstoff/Kohlenstoffdioxid-Kreislauf verknüpft: Immerhin ist in ihrer Biomasse ein großer Teil des atmosphärischen CO_2 sozusagen stillgelegt. Würde man sie abholzen und verbrennen, dann hätte dies einen weiteren erheblichen Anstieg der atmosphärischen CO_2 -Konzentration zur Folge und eine massive Verstärkung des Treibhaus-Effektes.

Literatur

- Stäudel, L.; Werber, B.; Freiman, T.: Lernbox – Naturwissenschaften verstehen & anwenden, Seelze 2002, Kap. Modellieren, S. 82 ff.
 Freiman, T.: Bienenanz – Abgestufte Lernhilfen unterstützen die Individualisierung. In: H. Ball u. a. (Hrsg.): Aufgaben – Lernen fördern – Selbstständigkeit entwickeln. Friedrich Jahresheft 2003, S. 96–99
 Leisen, J. u. a. (Hrsg.): Methodenhandbuch des DFU. Bonn 1999
 Ders.: Wider das Frage- und Antwortspiel. In: H. Ball u. a. (Hrsg.): Aufgaben – Lernen fördern Selbstständigkeit entwickeln. Friedrich Jahresheft 2003, S. 116–118

► Dr. Lutz Stäudel, wiss. Mitarbeiter in der Chemiedidaktik an der Universität Kassel
 lutzs@uni-kassel.de

Uni GH Kassel, FB 18 Did. d. Chemie,
 Heinrich-Plett-Str. 40, 34109 Kassel ◀

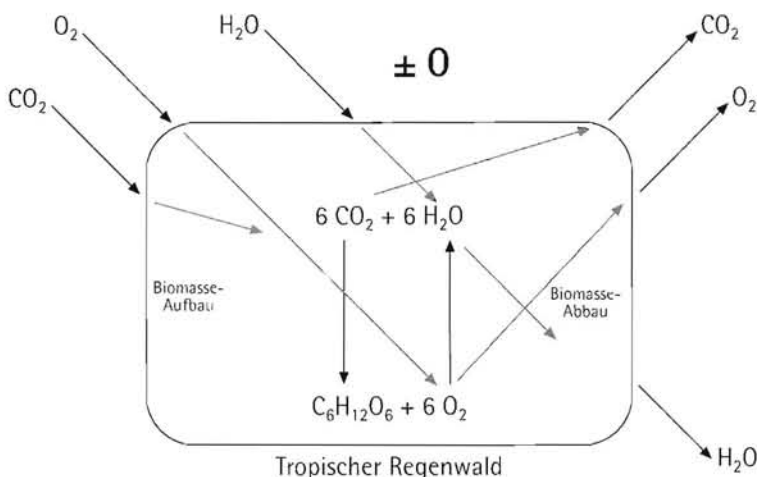


Abb. 5:

Das Rätsel der Regenwaldböden



Foto: Picture Press

Wenn man im Amazonaswald mit dem Fuß die dünne Blätterschicht am Boden beiseite scharrt, so kommt schwarzer Humus zum Vorschein, der nur ein paar Zentimeter tief reicht. Gleich darunter ist eine bleiche, gelbliche oder rötliche Erde zu sehen, die von Wurzeln und Pilzfäden durchzogen ist. Wäre nicht alles so feucht und modrig, entstünde der Eindruck, der Boden bestehe aus Sand. Was ist das für ein Boden, der so karg aussieht und doch die gewaltigsten Wälder trägt?

Viele Regenwaldböden, besonders die südamerikanischen, sind – für sich betrachtet – nahezu unfruchtbar. Die Sand- und Kaolinitböden sind fast mineralstofffrei, da die Mineralien während der seit Jahrmillionen fortschreitenden Verwitterung ausgewaschen wurden. Artenreichtum und die Vielfalt des Lebens ist kein Ergebnis fruchtbarer Böden, sondern haben zu tun mit einem fast geschlossenen Nährstoffkreislauf. Fällt im Tropischen Regenwald ein abgestorbenes Blatt oder ein Ast auf den Boden,

so wird es sofort von sogenannten Mykorrhizapilzen befallen, die aus ihm alle Nährstoffe herausfiltern. Die Pilze hängen an Baumwurzeln und geben die gewonnenen Nährstoffe an die Bäume weiter. Vom Blatt selbst bleibt kein Humus zurück. So befinden sich fast alle Nährstoffe ständig in den lebenden Pflanzen, nur eine winzige Menge ist in der Bodenschicht enthalten.

Die Verluste, die trotz allem auftreten, werden durch den Regen ausgeglichen. Messungen an den Bächen, die den Wald verlassen, ergaben, dass ihr Wasser unglaublich rein ist, fast so rein wie destilliertes Wasser. Die unzähligen Pflanzenarten, die der Wald hervorgebracht hat, helfen alle mit, möglichst viele Mineralstoffe (wie Calcium, Kalium, Phosphor ...) aus dem Regen zu filtern.

Die Vielzahl der Arten ist also die Antwort der Natur auf die Knappheit der Ressourcen. Nicht trotz der Nährstoffarmut gibt es im Regenwald so viele Arten, sondern gerade wegen ihr!

Verändert nach: <http://www.umsu.de/regaus/>

(Der ursprüngliche Text war Teil einer Ausstellung am Gymnasium Leutkirch i. Allgäu 1992, überarbeitet vom Arbeitskreis Nord-Süd der KHG Oldenburg 1998.)