

**Zeitschrift:** Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen

**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen

**Band:** 66 (2014)

**Artikel:** Das grüne Kleid der Erde : Pflanzenevolution und Erdgeschichte

**Autor:** Demmerle, Susi / Stössel-Sittig, Iwan

**Kapitel:** 5: Eine chemische Reaktion verändert die Welt : die Fotosynthese

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-585006>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## 5. Eine chemische Reaktion verändert die Welt: die Fotosynthese

Wie unsere Gesellschaft als Ganzes benötigt auch jede noch so kleine Lebensform Energie. Die allerfrühesten Lebensformen scheinen dafür chemische Energie genutzt zu haben. Der ganz grosse Durchbruch gelang aber, als es gewisse sehr ursprüngliche Lebewesen schafften, die Energie des Sonnenlichtes in chemische Energie umzuwandeln. Nach unserem heutigen Wissen verdanken wir einerseits sämtlichen freien Sauerstoff der Atmosphäre diesem Prozess. Andererseits beziehen heute fast alle höheren Lebewesen entweder direkt (Pflanzen) oder indirekt (Tiere) die für das Leben notwendige Energie von der Sonne.

### 5.1 Das Chlorophyll als Sammler von Energie

Chlorophyll ist das Zauber-Molekül, das die Sonnenenergie einfangen kann. Es ist grün und kann den roten und blauen Anteil des Lichtspektrums der Sonne absorbieren und die dabei gewonnene Energie zur Herstellung von organischen Verbindungen benutzen, also Fotosynthese betreiben. Das ist etwas ganz Entscheidendes für die gesamte Evolution, für Pflanzen und für Tiere. Höheres Leben ist ohne die in Pflanzenteilen gespeicherte Energie nicht vorstellbar, wir alle sind auf die Leistungen der Pflanzen angewiesen und könnten bald nicht mehr existieren, wenn das Pflanzenkleid der Erde zerstört würde.

Bei der Fotosynthese entstehen mit Hilfe von Wasser ( $H_2O$ ) und Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) unter Einwirkung des Sonnenlichtes hochenergetische organische Stoffe, wie zum Beispiel Traubenzucker ( $C_6H_{12}O_6$ ). Dabei wird durch die Spaltung des Wassers Sauerstoff frei und Energie gebunden. Es ist im Detail ein sehr komplizierter Prozess, lässt sich aber mit einer stark vereinfachten chemischen Summenformel beschreiben (Abb. 5.1).

Die Photosynthese funktioniert dank dem Molekül Chlorophyll und einigen anderen sogenannten Assimilationspigmenten.

Das Chlorophyll (Abb. 5.2) liegt in den höheren Pflanzen in Chloroplasten oder Chlorophyllkörnern vor, die ihre eigene Erbsubstanz (DNS) besitzen. Wie bereits oben erwähnt sind sie eigentlich Symbionten, die ihre Selbständigkeit z.T. noch behalten haben. Man erkennt das daran, dass sie sich in einem eigenen, von der Zelle unabhängigen Rhythmus teilen.

Der Traubenzucker (Abb. 5.3), der als erstes Produkt der Fotosynthese entsteht, ist einerseits **Energielieferant** für viele Lebensvorgänge. Da er was-

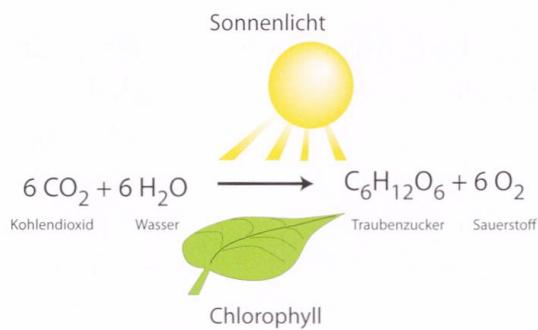


Abb. 5.1: Die Summenformel der Fotosynthese

so die Energie aus der Fotosynthese gefahrlos aufbewahren und bei Bedarf die Traubenzuckermoleküle wieder abspalten.

Anderseits kann Traubenzucker auch als Baustein für organisches Material verwendet werden. Wenn der Traubenzucker zu einer anderen Kette

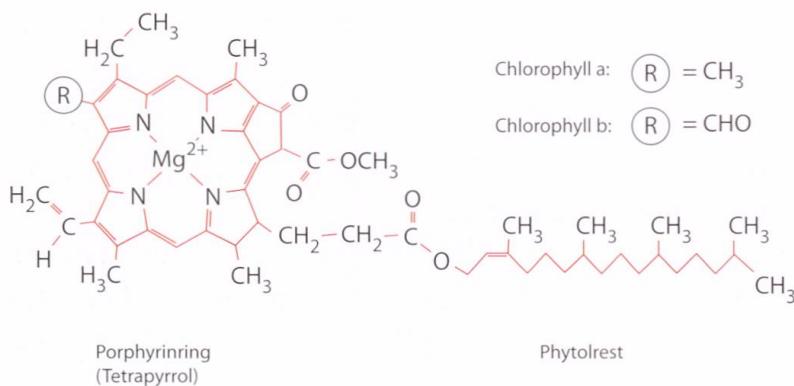


Abb. 5.2:  
Das Chlorophyll:  
Summenformel  
C<sub>55</sub>H<sub>72</sub>MgN<sub>4</sub>O<sub>5</sub>

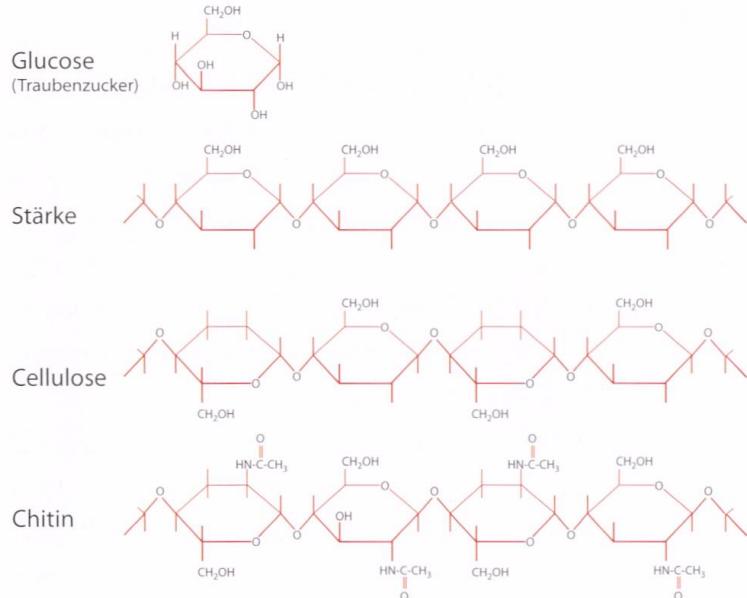


Abb. 5.3: Traubenzucker (Glucose), Stärkekette, Cellulose und Chitin

von Molekülen verknüpft wird, entsteht die **Cellulose** (Abb. 5.3). Sie bildet Pflanzenfasern und ist auch im Holz vorhanden und nicht wasserlöslich.

Wird einer Traubenzuckerkette an gewissen Stellen eine Stickstoffgruppe eingefügt, so entsteht **Chitin** (Abb. 5.3). Auch auf diese andere Weise ist der Traubenzucker ein Baustein für eine derbe Struktur, sie ist der Baustoff für die Panzer von Insekten und anderen Gliedertieren. Auch Stützelemente in Pilzen bestehen aus Chitin.

Ein Molekül kann also, wiederum ähnlich wie ein Legosteine, auf verschiedenste Arten genutzt werden.

Durch die Fotosynthese entstanden sehr früh grosse Mengen von organischem Material, das von Bakterien und später auch von höheren Organismen als Baumaterial oder als Nahrung genutzt werden konnte.

## 5.2 Die ersten «Pflanzen»

Chlorophyll ist nicht das einzige Biomolekül, das Sonnenenergie umwandeln kann, also ein sogenanntes Assimilationspigment ist. Das tintenblaue Phyco-cyan, das aus Cyanobakterien extrahiert werden kann, absorbiert nicht genau dieselben Wellenlängen des Lichtes, ist aber ebenfalls ein Assimilationspigment. Sein Bau ist verwandt mit dem des Chlorophylls, der Porphyrinring ist aber noch nicht geschlossen, sondern gestreckt.

Carotine, gelbe, anders gebaute Moleküle, sind als Fotosyntheshelfer praktisch in allen grünen Pflanzen vorhanden. Sie funktionieren auf komplexe Art als Lichtsammler und schützen auch das Chlorophyll vor Schädigung durch das Licht.

Die Cyanobakterien (Abb. 4.3) waren vor etwa 3,4 Milliarden Jahren die Erfinder der Fotosynthese und somit die ersten «Pflanzen» (im weitesten Sinne). Sie lebten für Hunderte von Millionen Jahren im Meer. Sie bildeten matenförmige Verbände, und sie fällten Kalk aus, indem sie  $\text{CO}_2$  aus einem chemischen Gleichgewicht im Meerwasser aufnahmen. Lagenweise wurden auch Tonminerale, Silt und Sand in den klebrig-schleimigen Matten eingelagert. Dadurch bildeten sich charakteristisch geschichtete Gesteine, die Stromatolithen, die als Zeugen eine unvergängliche Spur frühen Lebens hinterliessen. Auf der vom Licht abgewandten Seite der Matten lebten andere Bakterien mit den fotosynthetisch aktiven Cyanobakterien zusammen.

Ähnliche Vorkommen von Stromatolithen, wie man sie schon aus rund 2 Milliarden Jahre alten Gesteinen kennt, sind noch heute von verschiedenen Orten auf der Erde bekannt: z.B. in Baja California (Mexico), um die Bahamas und in Westaustralien (Shark Bay; Abb. 5.4). Die australischen Vorkom-

men findet man in warmem, seichtem, klarem Wasser mit hohem Salzgehalt, der sie z.B. vor Schneckenfrass schützt. Ähnliche, wenn auch meist nicht ganz so prominente Gebilde gibt es aber auch anderswo auf der Erde. Heute sind an ihrer Bildung in der Regel nicht mehr nur Cyanobakterien beteiligt; oft sind auch Grünalgen oder Rotalgen mit dabei. Dass sich solche «Stromatolithen» auch heute noch bilden können, zeigen eindrücklich die «Schnegglisande» vom Unter- und Bodensee (Abb. 5.5). Hier wachsen die organischen Matten nicht flach auf dem Gewässergrund, sondern rund um Schneckenhäuser, Muschelschalen, Steine oder Holz.

Stromatolithen treten im Laufe der Erdgeschichte immer wieder auf (Abb. 5.6, 5.7); fossile Beispiele kennt man auch von mehreren Orten in der Schweiz (z.B. Säntis, Jura, Tessin, Graubünden).

### 5.3 Fotosynthese und Klima

Die Formel der Fotosynthese zeigt: mit jedem organischen Molekül, das entsteht, wird auch Sauerstoff ( $O_2$ ) freigesetzt. Damit wurde mit der Verbreitung der ersten Organismen, die Fotosynthese betrieben, auch Sauerstoff an die Umgebung abgegeben.

Zunächst wurde dieser Sauerstoff sofort wieder verbraucht, indem er im Wasser neue chemische Verbindungen einging. Auch Eisen und andere im Meerwasser gelöste Metalle wurden oxidiert und dadurch teilweise ausgefällt,



Abb. 5.4: Stromatolithen aus der Shark Bay, Australien (einzelne Körper ca. 40 cm bis 1 m)



Abb. 5.5: «Schnegglisand» am Grund des Rheins bei der Insel Werd; Bildausschnitt oben rechts Querschnitt durch kalkige Algenknollen (grösseres Exemplar: 3.5 cm im Durchmesser)



Abb. 5.6: Fossiler Stromatolith mit der typischen unregelmässigen und welligen Lamination (Hauptdolomit, Trias, Ofenpass, Breite 16 cm)

z.B. als Hämatit. Es entstanden ausgedehnte Eisenerz-Lagerstätten auf dem Meeresboden. Wo sie hochgehoben wurden, können sie heute im Bergbau kommerziell genutzt werden: als gebänderte Eisenerze, oder Banded Iron Ore (Abb. 5.8).

Nachdem die Metallionen oxidiert waren, erhöhte sich die Konzentration des freien Sauerstoffes im Wasser und in der Atmosphäre. Das war für viele der ursprünglichen Einzeller eine Katastrophe, sie wurden selbst oxidiert und getötet. Sauerstoff war für die damaligen Lebewesen ein gefährliches Gift.

Wie im Kapitel 4 «Die Entstehung des Lebens» erwähnt, existierten schon früh Bakterien, welche die Sauerstoffatmung als Energiegewinnungsart beherrschten, die also mit Hilfe des Sauerstoffes Energie aus organischen Molekülen gewinnen konnten. Eine dieser Bakterienarten wurde in der Folge als Mitochondrium in die Zellen aller Sauerstoff atmenden Lebewesen aufgenommen. Jede Zelle mit Sauerstoff-Stoffwechsel hat sehr viele Mitochondrien; diese haben wie die Chloroplasten eigene DNS und können sich ebenfalls unabhängig von der Wirtszelle vermehren.



Abb. 5.7: Fossiler Stromatolith aus Bolivien mit der charakteristischen Schichtung (El Molina Formation, Oberkreide, Breite 19.5 cm)



Abb. 5.8: Gebändertes Eisenerz (Northern Territory, Australien, 2.4 Mia. Jahre, Breite 18 cm)

Auch sie wurden als Stoffwechselhelfer und im Speziellen als Umsetzungs-maschinerie des giftigen Sauerstoffes in energiereiche Moleküle (ATP, siehe Abschnitt 5.4) unentbehrlich für das Überleben der Zellen im aeroben Mi-lieu.

Da infolge der Fotosynthesetätigkeit der Algen die Sauerstoffkonzentra-tion im Wasser zunahm, erweiterten sich die Möglichkeiten für diese  $O_2$ -atmenden Lebewesen gegenüber den anderen, die anaerob lebten.

Die alten Strategien zur Energiegewinnung, nämlich Chemosynthese und Gärung, wurden nun von der moderneren Atmung konkurreniert, aber nicht ausgelöscht.

Der Prozess der Fotosynthese verbraucht, wie man sieht,  $CO_2$  und produ-ziert  $O_2$  und zwar im Mengenverhältnis 1 : 1. Während der Sauerstoff an die Umgebung abgegeben wird, wird das  $CO_2$  in Pflanzenmaterial eingebaut und so «fixiert». Es wird erst wieder frei, wenn das organische Material verrottet, verbrennt oder veratmet wird. Wenn das organische Material als Kohle oder Öl abgelagert wird, bleibt pro  $CO_2$  ein Sauerstoffmolekül in der Atmosphäre.

Die  $CO_2$ -Konzentration der Atmosphäre hatte und hat noch immer einen fundamentalen Einfluss auf die Temperatur der Erde, wie wir noch sehen werden.

Die Anreicherung von  $O_2$  in der Atmosphäre hatte aber auch einen an-deren, gefährlichen Aspekt. Durch den langsam folgenden Anstieg der Sau-erstoffkonzentration in der Luft begann sich unter UV-Einfluss Ozon ( $O_3$ ) zu bilden. In Bodennähe ist dieses Gas sehr aggressiv und oxidiert alles, aber es begann sich in die Stratosphäre zu verschieben, wo es interesseranterweise für die Erde als Schutzschild gegen UV-Strahlung wirkt. Nur Dank dieser Schutzschicht war es Pflanzen und Tieren überhaupt erst möglich, aus dem Wasser zu steigen und das Land zu erobern.

---

Ohne die Erfindung der Fotosynthese würde die Erde fundamental anders aussehen, Tiere wären wohl nie entstanden.

---

## 5.4 Weitere Verwendung von Molekülen

In der Evolution werden einmal erfundene Moleküle später oft umgebaut und für andere Zwecke verwendet.

Der Porphyrinring, der das Grundgerüst des Chlorophylls darstellt (vgl. Abb. 5.2), wird in Abwandlungen für viele andere Moleküle verwendet, die alle mit der Atmung und dem Sauerstoff in Verbindung stehen, z.B. Hämoglobin, Atmungsfermente (Cytochrome), Katalasen, Peroxidasen, Vitamin B12. Es sind alles Hilfsstoffe des Sauerstoffwechsels.

Ein anderes Molekül, das an wichtigen Stellen des Stoffkreislaufes eine Schlüsselstellung einnimmt und als Ausgangsmolekül für weitere Wirkstoffe fungiert, ist Adenin (Abb. 5.9).

Adenin ist einer der vier Bausteine der DNS und der RNS und damit ein Teil des genetischen Codes. Es ist aber auch Ausgangsstoff für biologische Lock- und Schreckstoffe.

Wird an Adenin eine Ribose (Zucker) angehängt, so wird es zu Adenosin und damit zum Grundgerüst für das ATP/ADP/AMP-System, also für die universellen Energiemoleküle Adenosin-Tri-, -Di- oder -Monophosphat (Abb. 5.10 und 5.11).

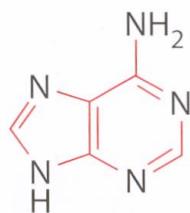


Abb. 5.9: Das Molekül von Adenin

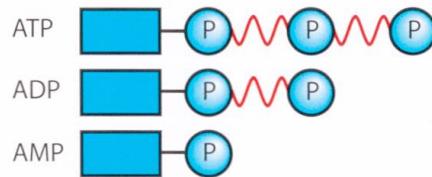


Abb. 5.10: Adenosin- Tri-, -Di- oder Monophosphat



Abb. 5.11: Das Molekül von Adenosin

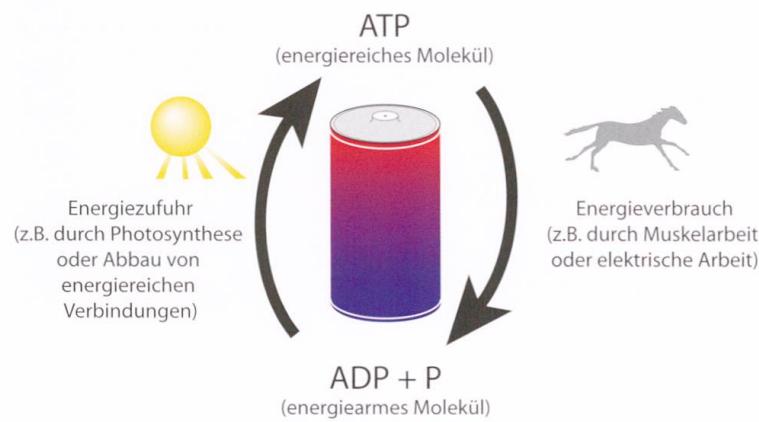


Abb. 5.12: ADP/ATP- «Batterie»

Überall wo im Stoffwechsel Energie freigesetzt wird tritt das Adenosin in Funktion. Unter Energieaufwand können diesem Molekül eine, zwei oder drei Phosphatgruppen angehängt werden. Die gewonnene Energie wird so in chemische Bindungsenergie umgewandelt und kann überall dort, wo gerade Energie benötigt wird, durch Abspaltung der Phosphatgruppe wieder freigesetzt werden – für alle möglichen «Arbeiten» des Lebewesens, z.B. für die Synthese von organischen Molekülen, für Muskelarbeit, Nervenreizleitung oder als osmotische Arbeit. Auch für das Leuchten der Leuchtkäfer liefert ATP die Energie.

Nicht immer wird die Energie genau dann benötigt, wenn sie im Stoffwechsel anfällt. Das ATP/ADP/AMP-System kann sie also speichern und dann abgeben wenn sie gebraucht wird. Es wirkt wie eine Batterie, die man, je nach Bedarf, auf- oder entladen kann (Abb. 5.12)

Im Stoffwechsel höherer Organismen wirkt das Adenosin auch noch ganz anders; es beeinflusst das Nervensystem, indem es Neurotransmitter blockieren kann.



Abb. 6.1: Die Makroalge *Chara* (Armleuchteralge) ist vermutlich nahe mit den Vorfahren der ersten Landpflanzen verwandt. Man kennt ihre fossilen Eibehälter aus 400 Millionen Jahre alten Gesteinen. Die «Zerbrechliche Armleuchteralge» (links, Bildbreite ca. 15 cm) lebt auch heute noch bei Schaffhausen im Rhein (rechts: Flussbett beim Schaaren).