

**Zeitschrift:** Bulletin / Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden = Association Suisse des Enseignant-e-s d'Université  
**Herausgeber:** Vereinigung der Schweizerischen Hochschuldozierenden  
**Band:** 37 (2011)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Chemie und Energie  
**Autor:** Clazaferrì, Gion  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-893912>

### **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:** 21.07.2025

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

## Chemie und Energie

Gion Calzaferri\*

Leben ist an Umwandlung von Energie gebunden; so ist auch jede Nutzung einer technischen Einrichtung. Unsere Gesellschaft ist weitgehend auf die chemische Umwandlung von fossil gespeicherter Energie ausgerichtet, also Kohle, Erdöl, Erdgas, Biomasse. Wird das so bleiben?

Die Photosynthese der grünen Pflanzen bildet die Basis für die ganze Nahrungskette. Damit die che-

an der Umwandlung von solarer zu chemischer Energie in biologischen Prozessen. Die gesamte Primärproduktion von organischem Kohlenstoff durch Reduktion von Kohlendioxid wird auf 105 Pg (Peta-gramm, 1 Pg=10<sup>15</sup>g) pro Jahr geschätzt, je zur Hälfte an Land und in Ozeanen<sup>1</sup>. Somit ist die Photosynthese die wichtigste CO<sub>2</sub>-Senke. Dabei werden von den etwa 178000 TW Leistung, die unsere Erde von der

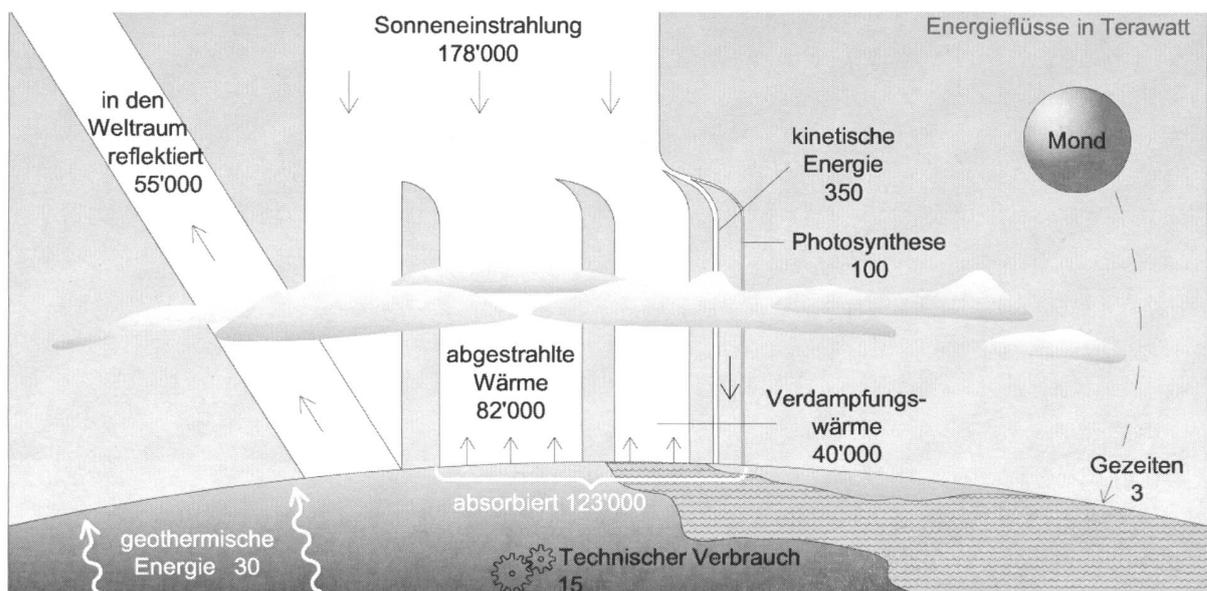


Abb.1 Energiebilanz der Erde. Etwa 178000 TW Leistung der Sonne trifft auf die Erde; 1 TW entspricht 10<sup>12</sup> Watt. Etwa 30% davon werden ohne grössere Umwege in den Weltraum reflektiert, 46% werden von der Erde absorbiert, in Wärme umgewandelt und in den Weltraum abgestrahlt. Die verbleibenden 24% erzeugen Winde und treiben den Wasserkreislauf an. Nur etwa 0.056% wird in der Fotosynthese der grünen Pflanzen umgesetzt, welche die Grundlage für alles Leben auf der Erde ist. Der aktuelle «technische Energiebedarf» der Menschheit liegt bei 15 bis 16 TW. Der Beitrag der Geothermie wird auf 30 TW geschätzt und jener der Mondgravitation beträgt 3TW.<sup>2</sup>

mischen, biochemischen und biologischen Prozesse ablaufen, benötigen die Pflanzen Licht, Nährstoffe und eine ausreichende Versorgung mit Wasser, dessen Verbreitung durch Verdunstung und Winde gewährleistet wird. Das Sonnenlicht ist somit der fundamentale Energieträger für alles Leben auf der Erde. Das Gedeihen der ganzen Fauna und Flora und auch die Versorgung mit freiem Sauerstoff hängen

Sonne zur Verfügung hat, nur etwa 0.056% bei der Photosynthese umgesetzt (1 Terawatt, TW = 10<sup>12</sup> W). Abb.1 zeigt die Energiebilanz der Erde. Etwa 30% der Sonneneinstrahlung werden ohne grössere Umwege ins Weltall reflektiert, 46% werden absorbiert, um bald wieder als Wärme abgestrahlt zu werden. Der Wasserzyklus, Winde und die Photosynthese setzen 24% um. Der «technische Energieumsatz» liegt gegenwärtig bei 15 bis 16 TW, was heisst, dass der Menschheit noch ein grosser Spielraum zur vermehrten Nutzung der Sonneneinstrahlung bleibt.

\* Universität Bern, Departement für Chemie und Biochemie, Freiestrasse 3, 3012 Bern.

E-mail: [gion.calzaferri@iac.unibe.ch](mailto:gion.calzaferri@iac.unibe.ch)

**Gion Calzaferri**, PhD, full professor (em.) for physical chemistry, is the 2007 recipient of the Theodor Förster lectureship, awarded jointly by the German Chemical Society and the German Bunsen Society for Physical Chemistry. His research focuses on supramolecularly organized molecules, clusters, and complexes in zeolites, and on artificial antenna systems for light harvesting.

<sup>1</sup> Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. C. B. Field, M. J. Behrenfeld, J. T. Randerson, P. Falkowski, *Science* **1998**, 281, 237-240; DOI: 10.1126/science.281.5374.237

<sup>2</sup> a) Energy for Planet Earth. G. R. Davis, *Scientific American* **1990**, 263, 21-27; b) Amerikas Weg ins solare Zeitalter. K. Zweibel, J. Mason, V. Fthenakis, *Spektrum der Wissenschaft* **2008**, März, 60-70;

c) <http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

Die vielen chemischen Prozesse, die bei der Umwandlung von fossil gespeicherter Energie in Arbeit oder Wärme ablaufen, die chemischen Reaktionen in Batterien, Akkumulatoren oder Brennstoffzellen und auch die anspruchsvollen chemischen Prozesse, die für die Bereitstellung und Aufarbeitung der Brennstäbe von Kernkraftwerken beherrscht werden müssen, sind grosse Themen.

Ein anderes grosses und besonders aktuelles Thema ist die Bedeutung chemischer Prozesse bei der Erforschung und technischen Realisierung von erneuerbaren Energien. Ich möchte in diesem kurzen Aufsatz einige Aspekte herausgreifen, bei denen die Chemie, bzw. die Chemiker, nur zeitweise im Vordergrund stehen, bei denen aber die Beherrschung chemischer Prozesse Voraussetzung zum Erfolg ist.

Erste Anregungen zur «technischen» Nutzung der reichlich einfallenden Sonnenleistung wurden bereits Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts von bedeutenden Wissenschaftlern vorgestellt. Im Jahr 1911 äusserte Wilhelm Ostwald, einer der Väter der Physikalischen Chemie, die Meinung, die Menschheit könne und sollte ihren Energiebedarf mit Hilfe der Sonnenenergie decken. Gut bekannt ist seine Bemerkung: «Verschwende keine Energie, verwende sie!».<sup>3</sup> Ein Jahr später diskutierte der Photochemiker Giacomo Ciamician in einem Vortrag am International Congress of Applied Chemistry in New York die Frage, ob es sinnvoll oder sogar notwendig sei, Brennstoffe mit Hilfe von künstlicher Photosynthese bereitzustellen.<sup>4</sup> Wichtig für die spätere Entwicklung ist die 1916 gemachte Entdeckung des polnischen Chemikers Jan Czochralski. Sie hat zu dem nach ihm benannten Verfahren zur Synthese von Einkristallen aus einer Schmelze geführt, das sich auch für Silizium eignet.

Um 1950 beobachteten Forscher der amerikanischen Firma Bell, dass Silizium-Gleichrichter am Sonnenlicht einen grösseren Strom zeigten, als im Dunkeln. Als Folge dieser Beobachtung entwickelte Bell 1954 die erste Silizium Solarzelle, deren Wirkungsgrad bei 4% bis 6% lag. Bereits 1958 wurden auf dem Satelliten Vanguard I Experimente mit diesen Zellen durchgeführt. Die ersten Versuche, Solarenergie in grösserem Masstab technisch zu nutzen, liessen aber auf sich warten und kamen als Konsequenz der ersten Ölkrise 1973–1974. Im Oktober 1973 brach ein neuer Krieg aus zwischen Israel und seinen arabischen Nachbarn. Als die arabischen Staaten erkannten, dass sie diesen Krieg militärisch nicht gewinnen konnten, beschlossen mehrere erdölexportierende Länder ökonomische Kriegsführung, indem sie die Erdölför-

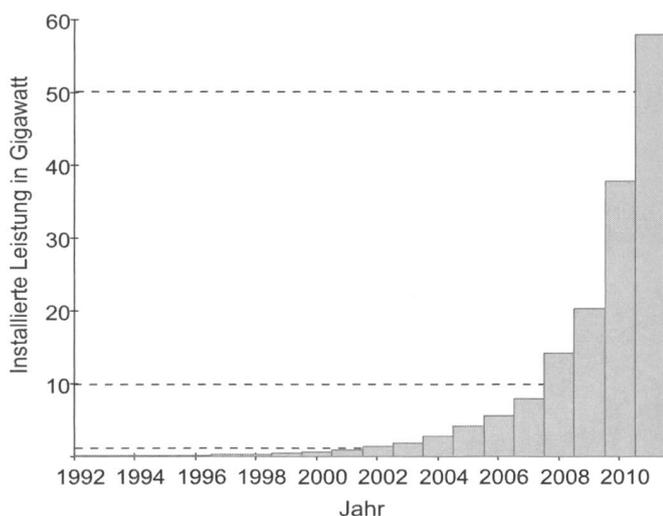


Abb. 2 Installierte Photovoltaik, weltweit. Bei den Zahlen handelt es sich um die Spitzenleistung der Anlagen. Die Daten für 2011 beruhen auf einer Schätzung.<sup>5</sup>

derung und den Erdölexport drosselten. Dies führte zu einer erheblichen Verknappung in der westlichen Welt und damit zur Einsicht, dass die vitale Abhängigkeit vom Erdöl eine Gefahr darstelle.

Die mit dieser ersten Ölkrise einsetzende und sich bis heute fortsetzende Verteuerung und Verknappung des Rohöls, sowie die befürchtete Klimaänderung, die mit der extensiven Nutzung fossiler Energieträger einhergeht, bewirken, dass die Einsichten von Ostwald, Ciamician und anderen Wissenschaftlern heute, 100 Jahre später, angekommen sind.

Die Technologie zur Nutzung von Solarenergie hat sich in wenigen Jahren zu einem respektablem Wirtschaftszweig entwickelt, mit jährlichen Zuwachsraten von etwa 40%. Ich illustriere dies anhand der Entwicklung der Photovoltaik, mit der wir Menschen erstmals einen Prozess entwickelt haben, der mit der Photosynthese vergleichbar ist. Statt chemischer Energie wird elektrische Energie erzeugt. Beides sind Energieformen, die keine Entropie enthalten. Ihre vollständige und verlustfreie Umformung in andere Energieformen ist prinzipiell möglich. Mit der Photovoltaik kann sich die Menschheit von den Energievorräten unabhängig machen, die als Folge früherer Sonnenenergienutzung durch die Pflanzen vorhanden sind. Abb. 2 zeigt, dass die Anfänge zur Nutzung von Photovoltaik recht zaghaft waren. Viele hatten geglaubt, dass sie sich nie durchsetzen werde. Nachdem die psychologische Limite von 1 Gigawatt (GW) installierte Leistung überschritten war, ging es sehr rasch. 2008 wurde die 10-GW-Schwelle passiert und wir können davon ausgehen, dass in diesem Jahr die 50-GW-Grenze überschritten wird. (Bei den Angaben zur Photovoltaik handelt es sich um Spitzenleistungen. Darum müssen diese Werte für einen

<sup>3</sup> W. Ostwald, Die Mühle des Lebens. Theod. Thomas Verlag, Leipzig, 1911.

<sup>4</sup> The Photochemistry of the Future.

G. Ciamician, *Science* 1912, 36, 385–394.

<sup>5</sup> Report IEA-PVPS T1- 19:2010 and <http://www.pvmarketresearch.com>

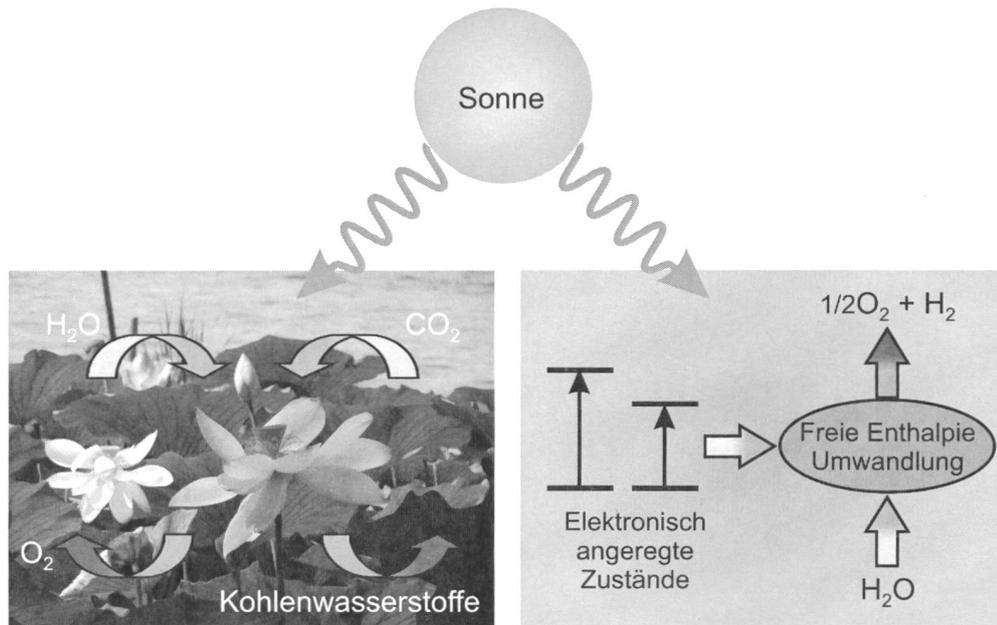


Abb. 3 Sonnenenergieumwandlung und Speicherung. Links: Illustration des Prinzips und der Schönheit der natürlichen Photosynthese. Rechts: Prinzip einer künstlichen Umwandlung und Speicherung von Licht.

Vergleich mit Kraftwerken, die Bandleistung erbringen, durch einen Faktor 5 bis 6 dividiert werden.) Das heisst, dass Ende dieses Jahres voraussichtlich das Äquivalent der Leistung von etwa 10 grossen Kernkraftwerken erreicht ist.

Der weitaus grösste Teil der installierten Photovoltaikanlagen beruht auf Silizium-Solarzellen-Technologie. Silizium ist nach dem Sauerstoff das zweithäufigste Element. Die Erdkruste besteht zu 25,8 Gewichtsprozent aus Silizium. Dieser Rohstoff wird uns also nicht ausgehen. Die Beiträge der Chemie zur technischen Realisierung von Photovoltaikanlagen sind vielfältig. Zunächst muss aus dem Rohstoff Siliziumdioxid reines Silizium gewonnen werden. Anschliessend folgen eine Reihe von Schritten, bis ein einsatzfähiges Modul bereitsteht. Dabei spielen mehrere chemische Prozesse eine Rolle. Photovoltaik ist ein sehr schönes Beispiel dafür, wie die technische Realisierung einer Anlage von enger Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen abhängt, in diesem Fall von Chemie und Physik, von Material- und Ingenieurwissenschaften, von Design und Architektur und schlussendlich von Ökonomen und Politikern.

Wir haben bereits festgestellt, dass die natürliche Photosynthese die Voraussetzung für Leben auf der Erde ist. Der thermodynamische Wirkungsgrad der Photosynthese von grünen Pflanzen für die Erzeugung eines Brennstoffs ist jedoch gering und verlangt optimale Bodenbedingungen, optimale Temperatur und ausreichende Wasserversorgung. Die natürliche Photosynthese hat viele andere lebensnotwendige Aufgaben zu bewältigen, nicht nur die Bereitstellung eines Brennstoffs. Eine alte Herausforderung der Photochemiker ist deshalb die Suche nach einem

spezialisierten Photosyntheseprozess, nicht durch Nachbildung der Selbstorganisation und Reproduktion des biologischen Systems, sondern um das Sonnenlicht dafür zu nutzen, die in grossen Mengen vorhandenen Rohstoffe Wasser und Kohlendioxid in einen chemischen Brennstoff zu verwandeln. Die Ergebnisse dieser Forschung sind bisher bescheiden geblieben, und es ist nicht möglich abzuschätzen, wann sich das ändern wird. Es kann sehr bald sein oder auch noch sehr lange dauern. Eine Gegenüberstellung der natürlichen zur künstlichen Photosynthese ist in Abb. 3 dargestellt.

Im Gegensatz zum bescheidenen Gesamtwirkungsgrad der grünen Pflanzen für die Bereitstellung eines Brennstoffs steht die Effizienz ihres Antennensystems. Es handelt sich um ein sehr ausgeklügeltes Werkzeug für die Lichtsammlung, also das Einfangen von Photonen, und Weiterleiten der Energie zum Reaktionszentrum, in dem dann die chemischen Prozesse eingeleitet werden, die das Wachstum der Pflanzen bewerkstelligen. Die Funktionsweise dieses wunderbaren Systems ist seit vielen Jahren gut verstanden, was dazu geführt hat, dass zahlreiche Chemiker versucht haben, künstliche Antennensysteme zu bauen; natürlich nicht, um ein Blatt im Labor zu synthetisieren, sondern um die Funktion des Antennensystems auf eine andere Art nachzubilden. Das ist in meinem Labor durch Organisation von Farbstoffen in Nanoröhren gut gelungen.<sup>6</sup> Es gibt jetzt vielversprechende Ansätze, diese Ergebnisse praktisch zu nutzen.<sup>7</sup> ■

<sup>6</sup> Mimicking the Antenna System of Green Plants. G. Calzaferri, K. Lutkouskaya, *Photochem. Photobiol. Sci.* **2008**, *7*, 879-910; DOI: 10.1039/b804682b.

<sup>7</sup> <http://www.optical-additives.com>