

Horst Hennig

## **Perspektiven der chemischen Speicherung von Sonnenenergie\***

Die Möglichkeiten einer chemischen Speicherung von Sonnenenergie spielen in der Öffentlichkeit nur eine ganz untergeordnete Rolle, obwohl die Natur uns hierfür mit der Photosynthese der Pflanzen ein Modell bietet, das in seiner Dimension im Vergleich zu allen zivilisatorisch bedingten Stoff- und Energiewandlungsprozessen konkurrenzlos ist. Wie bereits zu Beginn dieses Jahrhunderts von *W. Ostwald* erkannt wurde, stellt streng genommen die chemische Modellierung der Photosynthese den Hauptweg dar, um die für das Überleben der Menschheit erforderliche Energie perspektivisch zur Verfügung zu haben [R]-

Im Verlaufe der Evolution ist mit der Photosynthese der grünen Pflanzen ein äußerst trickreiches System zur lichtgetriebenen Elektronen- und Protonenübertragung von Wasser auf Kohlendioxid entstanden, das eine Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie sowie deren Speicherurig in Form von Kohlenhydraten und Sauerstoff ermöglicht.

Die bei der Photosynthese umgesetzten Energie- und Stoffmengen übertreffen alle artifiziellen energie- und stoffwandelnden Prozesse auf der Erde. Das verdeutlicht, welch beeindruckendes Potential an energetischen Umsätzen sich hinter der Photosynthese verbirgt und warum eine chemische Modellierung dieses biologischen Prinzips von so herausragender Bedeutung für die Entwicklung einer zukünftigen Energiebasis der Menschheit ist.

In diesem Sinne kann die chemische Speicherung von Sonnenenergie als Weg zu alternativen Energiequellen verstanden werden, wobei allerdings festzustellen ist, daß einerseits die chemische Wirkungsweise des natürlichen Modells Photosynthese noch nicht vollständig aufgeklärt ist und andererseits nur vereinzelt Ansätze zur Entwicklung vergleichbarer

\* Kurzfassung des Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 14. Mai 1998.

artifiziieller Systeme bekannt sind, die dem Ziel einer effizienten chemischen Sonnenenergie-Speicherung dienen [2], [3], [4].

Die chemische Wandlung von Sonnenenergie beruht auf dem Wesen der chemischen und photochemischen Energiespeicherung, Basierend auf den chemischen und photochemischen Wirkprinzipien der Photosynthese erweisen sich photokatalytische Systeme zur Umwandlung von solarer in chemische Energie als besonders geeignet [2], [5].

Die Vorzüge photochemischer Reaktionen beruhen im Vergleich zu thermischen Umsetzungen darauf, daß durch eine photochemische Anregung die Aktivierungsbarriere in der Regel bei beliebig niedrigen Temperaturen überwunden werden kann und sogenannte „Bergauf-Prozesse“ ermöglicht werden.

Natürlich ist auch unter photochemischen Bedingungen die Aktivierungsenergie zur Verlustbilanz der Strahlungsenergie rechnen. Das bedeutet, daß eine photochemische Reaktionsführung nur dann wirtschaftlich gestaltet werden kann, wenn die Photonen kostengünstig zur Verfügung stehen. Letzteres gilt ausschließlich für solare Photonen, da sie einer Energiequelle entstammen, die im Gegensatz zu den Ressourcen der Erde kostenlos verfügbar ist.

Einige ausgewählte Beispiele zeigen die Anwendung photochemischer Wirkprinzipien zur Umwandlung von Sonnenenergie in chemische Energie und andere nutzbare Energieformen.

Es gibt die unterschiedlichsten Ansätze dafür, wie Lichtenergie (im Idealfall Sonnenenergie) in chemische Energie umgewandelt werden kann (s. z. B. [2], [3], [4], [5], [6]). Sie sind von der jeweiligen Zielstellung abhängig. Wenn es sich um Wege zur Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare Energie handelt, dann steht die photokatalytische Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff (Nutzung von Knallgas z. B. zur direkten oder indirekten Erzeugung von Elektrizität) oder zu Wasserstoff (der aus verschiedenen Gründen einfachere Weg) [7], die photoelektrochemische Erzeugung von elektrischer Energie [8] oder die Speicherung auf dem Wege von Molekümlagerungen, die thermisch auf katalytischem Wege unter Abgabe von Wärmeenergie rückgängig gemacht werden können [9], im Mittelpunkt vielfältigster Untersuchungen. Einer indirekten chemischen Energiespeicherung dient die Nutzung von Sonnenenergie für photochemische bzw. photokatalytische Stoffwandlungspro-

zesse mit dem Ziel der Hoch- bzw. Höchstveredlung von einfachen Synthesbausteinen (s. z. B. [10], [11]),

Der Anspruch hinsichtlich einer praktischen Nutzung einer chemischen Speicherung von Sonnenenergie erscheint insofern als realistisch, da mit der Photosynthese der grünen Pflanzen ein natürliches Modell vorliegt, das (neben seiner lebensspendenden biologischen Funktion) den bedeutendsten energie- und stoffwandelnden Prozeß auf der Erde repräsentiert. Bei einem Wirkungsgrad von weniger als 1% und einer aus technischer Sicht höchst geringen Effizienz von  $< 1\%$  wird zugleich deutlich, daß biologische Konstruktionen nach den völlig anderen Prinzipien der Evolution geordnet sind. Zu welchen Leistungen die Natur dabei fähig ist, verdeutlicht sich am Weltenergieverbrauch, der gegenwärtig um eine Zehnerpotenz unter der Energiespeicherung der Photosynthese liegt.

Zu den Nachteilen photochemischer Wirkprinzipien sind unterschiedliche physikalische und chemische Desaktivierungsprozesse zu zählen, die die Effizienz photochemischer Reaktionen erheblich beeinträchtigen können. Allerdings zeigt die Photosynthese, mit welchen chemischen Tricks es der Natur gelingt, diese Barrieren zu überwinden. Ein weiterer, wesentlicher Nachteil liegt in der spektralen Breite und damit Energieverteilung des auf die Erde einfallenden Sonnenlichts begründet. Sonnenlicht verfügt über keine nennenswerten Anteile an energiereicher ultravioletter Strahlung. Da aber zahlreiche Verbindungen, die auf Grund ihrer Reaktivitätsmerkmale für eine chemische Energiespeicherung von Sonnenenergie als besonders geeignet erscheinen, nur (oder überwiegend) im ultravioletten Spektralbereich Licht absorbieren, macht sich für deren Nutzung eine spektrale Sensibilisierung für die energieärmeren Bereiche des Sonnenspektrums erforderlich [12],

## Literatur

- [1] W. Ostwald; Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaften, Leipzig, 1909
- [2] N. Serpone, E. Pelizzetti (Eds.); Photocatalysis, John Wiley, New York, 1989
- [3] M. Grätzel (Ed.); Energy Resources through Photochemistry and Catalysis, Academic Press, New York, 1983
- [4] H. Hennig; Chemische Speichrang von Sonnenenergie - eine alternative Energiequelle, Sitzungsberichte Sächs. Akad. Wiss., **126**, Heft 3 (1997)

- [5] H. Hennig, D. Rehorek; Photochemische und photokatalytische Reaktionen von Koordinationsverbindungen, Akademie-Verlag, Berlin, 1987, Thieme, Stuttgart, 1988
- [6] V. Balzani, F. Scatidola; Supramolecular Photochemistry, Horwood, Chichester, 1991
- [7] H. Hennig, K. Ritter, R. Billing; 3. prakt. Chem., 338 (1996) 604
- [8] B. O'Regan, M. Grätzel; Nature, 338 (1991) 737
- [9] C. Kotal; Coord. Chem. Rev., 64 (1985) 191
- [10] H. Hennig, L. Weber, R. Stich, M. Grosche, D. Rehorek; in: J.F. Rabek (Ed.); Progress in Photochemistry and Photophysics, Vol. VI, CRC Press, Boca Raton, 1992
- [11] P. Esser, B. Pohlmann, H.-D. Scharf; Angew. Chem., 106(1994) 2093
- [12] H. Hennig, R. Billing, H. Knoll; in: K. Kalyanasundaram, M. Gräuel (Eds.); Photosensitization and Photocatalysis Using Inorganic and Organometallic Compounds, Kluwer, Dordrecht, 1993