



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften



Mai 2018

Kurzfassung der Stellungnahme

Künstliche Photosynthese

Forschungsstand, wissenschaftlich-technische
Herausforderungen und Perspektiven

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
Union der deutschen Akademien der Wissenschaften

Die Energieversorgung umwelt- und klimafreundlich zu gestalten, ist eine der größten gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Kohle, Erdöl und Erdgas müssen durch CO₂-neutrale Brenn- und Wertstoffe ersetzt werden, um die Folgen des Klimawandels einzudämmen. Eine wichtige Voraussetzung: Nur wenn regenerative Energieträger nachhaltig produziert werden, können sie zum Klimaschutz beitragen.

Einen möglichen Ansatz hierfür eröffnet die Künstliche Photosynthese. Bei der Photosynthese handelt es sich um einen Prozess, bei dem unter alleiniger Nutzung von Sonnenlicht als Energiequelle chemische Energieträger und organische Wertstoffe produziert werden. Während in der biologischen Photosynthese die Energie des Sonnenlichts von Pflanzen, Algen und Bakterien genutzt wird, um aus Kohlendioxid und Wasser Biomasse zu produzieren, werden in der Künstlichen Photosynthese Produkte wie Wasserstoff, Kohlenmonoxid, Methan, Methanol oder Ammoniak, aber auch komplexere Substanzen erzeugt, die fossile Brenn- und Rohstoffe ersetzen können. Diese energiereichen Stoffe können transportiert, gespeichert und anschließend im Energie- und Rohstoffsystem eingesetzt werden. Gelänge eine großtechnische Anwendung der Künstlichen Photosynthese, so ließen sich die vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen spürbar eindämmen, da weniger fossile Ressourcen gefördert und verbrannt werden müssten.

Die solare Produktion von Brenn- und Wertstoffen aus unbegrenzt verfügbarem Wasser und Bestandteilen der Luft (CO₂ bzw. Stickstoff) kann also einen Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz leisten. Es gibt unterschiedliche Forschungsrichtungen und Technologieentwicklungen, wobei die Künstliche Photosynthese in dieser Studie im Vordergrund steht:

- **Modifizierte biologische Photosynthese:** Brenn- und Wertstoffe werden durch gentechnisch optimierte photosynthetische Mikroorganismen produziert. Dieser Ansatz eignet sich besonders, um komplexere Substanzen wie Carbonsäuren zu erzeugen. Das Technologiekonzept geht dabei nicht den Umweg über Biomasse, der bei der seit längerem stattfindenden Produktion von Biokraftstoffen oder Biopolymeren aus Mais oder anderen Energiepflanzen zentral ist.
- **Kopplung von biologischen und nicht-biologischen Komponenten zu Hybridsystemen:** Diese nutzen durch erneuerbare Energie gewonnenen Strom zur elektrolytischen Erzeugung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid, die in Bioreaktoren zur Produktion von Brenn- und Wertstoffen durch Mikroorganismen eingesetzt werden.
- **Power-to-X-Technologien:** Diese Verfahren nutzen Strom aus regenerativen Quellen zur elektrochemischen Synthese von Brenn- oder Wertstoffen. Dazu zählen etwa Wasserstoff, Ethylen oder – in mehrstufigen Prozessen – Methan (Erdgas), Alkohole oder kohlenwasserstoffbasierte Kunststoffe.
- **Künstliche Photosynthese:** Solarenergie wird mithilfe von katalytischen Prozessen umgewandelt und zur Erzeugung von Brenn- und Wertstoffen eingesetzt. Die Produktion erfolgt in vollständig integrierten Systemen wie beispielsweise „künstlichen Blättern“ oder durch eine direkte Kopplung von Photovoltaik- und Elektrolyseanlagen. Der Vorteil dieses Ansatzes: Die erzeugten Stoffe lassen sich speichern, lagern und transportieren.

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Künstlichen Photosynthese wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten gründlich erforscht. Darauf aufbauend konnten im Rahmen nationaler und internationaler Projekte bereits vielversprechende Testsysteme entwickelt werden, in denen vor allem Teilreaktionen der Gesamtprozesse untersucht und optimiert werden. So kann es gelingen, verschiedene Brenn- und Wertstoffe einzig mit Sonnenlicht als Energiequelle – bei vollständigem Verzicht auf fossile Ausgangsstoffe – zu produzieren. Während erste größere Power-to-X-Anlagen bereits ihren Testbetrieb aufgenommen haben, befindet sich die Künstliche Photosynthese hingegen noch weitgehend auf der Ebene der Grundlagenforschung. Geeignete Systeme existieren bislang als Labor-Prototypen, sodass eine belastbare Kosten-Nutzen-Analyse und eine ökonomisch vertretbare Zukunftsprognose derzeit noch nicht möglich sind.

Die Fortschritte der letzten Jahre rücken eine großtechnische Produktion „solarer Brenn- und Wertstoffe“ in den Bereich des Machbaren. Als wesentliche Herausforderung sehen Fachleute aus der Industrie die Skalierbarkeit der vorhandenen Ansätze. Dabei ergeben sich Schnittstellen und Anknüpfungspunkte zu schon existierenden Technologien, zum Beispiel zur effizienten Kopplung von Photovoltaik- und Elektrolyse-Systemen. Ein großtechnischer Einsatz der Künstlichen Photosynthese und die damit verbundene Abkehr von einer fossilen Energieversorgung kann allerdings nur dann gelingen, wenn Chancen und Herausforderungen der neuen Technologien frühzeitig in einem breiten gesellschaftlichen Dialog diskutiert werden.

Empfehlungen

Die durch Künstliche Photosynthese produzierten Brenn- und Wertstoffe können helfen, fossile Rohstoffe künftig zu ersetzen. Damit kann Künstliche Photosynthese einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende leisten. Was dafür jetzt zu tun ist, beschreiben die deutschen Wissenschaftsakademien in ihren Empfehlungen an Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft:

Empfehlung 1: *Einbeziehung neuer Technologien zur nachhaltigen Produktion von Brenn- und Wertstoffen in Zukunftsszenarien*

Soll die Energieversorgung im Jahr 2050 vollständig oder zumindest weitgehend ohne fossile Brenn- und Kraftstoffe auskommen, werden Wind- und Solaranlagen eine zentrale Rolle spielen, deren Leistung jedoch schwankt. Die Versorgung könnte abgesichert werden, wenn große Mengen fluktuierender Solar- und Windenergie in Form nicht-fossiler Brennstoffe langfristig gespeichert werden (stoffliche Energiespeicherung). Dabei bietet die Künstliche Photosynthese eine weitere Methode, um auch chemische Wertstoffe aus unbegrenzt verfügbaren Bestandteilen der Luft (CO₂, Stickstoff) mit Wasser unter Nutzung erneuerbarer Energien zu gewinnen. Die solare Erzeugung von Brenn- und Wertstoffen aus Wasser und CO₂ sollte daher künftig in die nationalen und globalen Konzepte der Energiegewinnung und des Klimaschutzes verstärkt einbezogen werden.

Empfehlung 2: *Fortführung der breit angelegten Grundlagenforschung*

Die Forschung zur nachhaltigen Brenn- und Wertstoffproduktion findet in Deutschland in zahlreichen Einzelprojekten und interdisziplinären Forschungsgruppen statt. Je nach Projekt widmen sich die Forscherinnen und Forscher unterschiedlichen Fragestellungen: Sie untersuchen beispielsweise neue Licht-

absorber und entwickeln Katalysatoren sowie Verfahren der Synthetischen Biologie. In anderen Projekten wird etwa erforscht, wie sich CO₂ zur Kunststoffproduktion nutzen lässt, wie Pilotanlagen gebaut und gesteuert werden könnten oder wie sich nachhaltige Stoffzyklen ökonomisch modellieren lassen. Diese Forschungsvielfalt ist sinnvoll und sollte beibehalten werden. Auf diese Weise könnte die Grundlagenforschung wissenschaftlich-technische Innovationen, die als „Game Changer“ wirken, möglich machen.

Empfehlung 3: *Verstärkte Koordination von Grundlagenforschung und industrieller Forschung*

Um Brenn- und Wertstoffe mit Technologien der Künstlichen Photosynthese nachhaltig produzieren zu können, müssen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten besser koordiniert und vernetzt werden. Diese Koordination könnten existierende Einrichtungen wie die Verbundforschung der Bundesministerien, Exzellenzcluster oder Forschungszentren übernehmen, etwa nach dem Vorbild der „Kopernikus-Projekte für die Energiewende“. Da bisher unklar ist, wie großtechnische Anlagen optimal geplant und errichtet werden können, sollte auch die industrielle Forschung frühzeitig in diesen Prozess miteinbezogen werden. Nur so lassen sich unter Berücksichtigung gesellschaftlicher und gesetzlicher Rahmenbedingungen klare ökonomische Perspektiven für die Produktion nicht-fossiler Brenn- und Wertstoffe aufzeigen.

Empfehlung 4: *Fokus auf Systemintegration und Evaluation der Kostenvorteile hochintegrierter Systeme der Künstlichen Photosynthese*

Technologien der Künstlichen Photosynthese verbinden die Umwandlung von Solarenergie mit der Produktion von Brenn- und Wertstoffen. Durch Integration in einem Gerät oder

einer kompakten Anlage könnten die Stoffe effizienter und kostengünstiger hergestellt werden. Zahlreiche, zum Teil schon sehr leistungsfähige Einzelkomponenten für die Künstliche Photosynthese sind bereits bekannt und im Labor gut untersucht. Dennoch befindet sich die Forschung und Entwicklung dieser Systeme noch in einem frühen Stadium. Vor allem ist unklar, wie einzelne Schlüsselprozesse sinnvoll gekoppelt und in das Gesamtsystem integriert werden können. Power-to-X-Technologien beruhen auf denselben chemischen Schlüsselprozessen, nutzen jedoch die Elektrizität des Stromnetzes als Energiequelle. Wie sich Power-to-X technisch umsetzen lässt, ist besser erforscht als die Anwendung der Künstlichen Photosynthese. Um zu untersuchen, wie und wo die Künstliche Photosynthese eine sinnvolle Ergänzung oder Alternative zu Power-to-X-Technologien darstellen kann, empfehlen die Akademien eine rund zehnjährige Forschungs- und Entwicklungsphase für integrierte Laborsysteme und Pilotanlagen, gefolgt von einer kritischen Bewertung.

Empfehlung 5: *Bewertung des Potenzials der Künstlichen Photosynthese*

Der Umbau des Energie- und Rohstoffsystems hat naturwissenschaftlich-technische, ökonomische, ethische und gesellschaftliche Dimensionen. Dies erfordert einen weit gefassten Diskurs zwischen Vertreterinnen und Vertretern der Natur-, Ingenieur-, Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften und der Industrie. Ziel ist es, das Potenzial der Künstlichen Photosynthese realistisch auf Skalierbarkeit, Energieeffizienz, Verfahrenstechnik und Kosten zu überprüfen, bevor entsprechende Ansätze für die großtechnische Anwendung weiterentwickelt werden. Diese Prüfung sollte – in Anbetracht der großen internationalen Konkurrenz und der hochrangigen Zielset-

zung – sorgfältig erfolgen, damit vielversprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten nicht vorschnell beendet werden.

Empfehlung 6: *Intensiver gesellschaftlicher Dialog zur Künstlichen Photosynthese im Kontext der Energiewende*

Die Energiewende betrifft alle gesellschaftlichen Gruppen. Bürgerinnen und Bürger sollten daher frühzeitig für neue Technologien sensibilisiert werden, mit denen fossile Energieträger langfristig ersetzt werden könnten. In diesem Kontext spielt die Gewinnung von „erneuerbaren“ Brenn- und Wertstoffen durch Künstliche Photosynthese eine große Rolle. Angesichts des frühen Entwicklungsstadiums, in dem sich die Künstliche Photosynthese derzeit befindet, sollte die Technologie sachorientiert, transparent und ergebnisoffen diskutiert werden. Besonders wichtig ist es, über Aspekte wie Versorgungssicherheit, die Verfügbarkeit von Rohstoffen und Klimaeffekte zu informieren. Dabei ist es notwendig, nicht nur die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen sowie die aktuellen Forschungsergebnisse zu vermitteln, sondern auch wirtschaftliche und ökologische Zusammenhänge verständlich darzustellen. Journalistisch vermittelte Informationen können helfen, die gesellschaftliche Relevanz des Themas zu erhöhen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie andere Akteure sollten künftig – neben den Medien – auch stärker mit zivilgesellschaftlichen Organisationen direkte Kontakte pflegen. Wird die Öffentlichkeit frühzeitig in Entscheidungsprozesse eingebunden, können für alle Beteiligten die Bedingungen der Akzeptanz für die neuen Technologien geklärt werden. Die Akademien können diesen gesellschaftlichen Dialog sinnvoll unterstützen, indem sie Diskussionsforen und Austauschplattformen anbieten.

Mitwirkende der Arbeitsgruppe

Prof. Dr. Matthias Beller (Leibniz-Institut für Katalyse e. V. (Projektleitung)), Prof. Dr. Dr. h. c. Markus Antonietti (Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung), Prof. Dr. Peter Dabrock (Universität Erlangen-Nürnberg), Prof. Dr. Holger Dau (Freie Universität Berlin), Dr. Tobias J. Erb (Max-Planck-Institut für Terrestrische Mikrobiologie), Prof. Dr. Bärbel Friedrich (Stiftung Alfried Krupp Kolleg Greifswald), Prof. Dr. Michael Grätzel (EPFL Lausanne), Prof. Dr. Robert Huber (Max-Planck-Institut für Biochemie), Prof. Dr.-Ing. Rupert Klein (Freie Universität Berlin), Prof. Dr. Burkhard König (Universität Regensburg), Prof. Dr. Philipp Kurz (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg), Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Lubitz (Max-Planck-Institut für Chemische Energiekonversion), Prof. Dr. habil. Bernd Müller-Röber (Universität Potsdam), Prof. Dr. Hans Peter Peters (Forschungszentrum Jülich), Prof. Dr. habil. Alfred Pühler (Universität Bielefeld), Prof. Dr. Bernhard Rieger (Technische Universität München), Prof. Dr. Matthias Rögner (Ruhr-Universität Bochum), Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Rudolf K. Thauer (Max-Planck-Institut für Terrestrische Mikrobiologie), Prof. Dr. Roel van de Krol (Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH), Prof. Dr. Elizabeth von Hauff (Vrije Universiteit Amsterdam), Prof. Dr. Eicke Weber (Berkeley Education Alliance for Research Singapore)

Kontakt:

PD Dr. Marc-Denis Weitze

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.

Leiter Themenschwerpunkt Technikkommunikation

weitze@acatech.de

Tel: (089) 52 03 09-50

Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unterstützen Politik und Gesellschaft unabhängig und wissenschaftsbasiert bei der Beantwortung von Zukunftsfragen zu aktuellen Themen. Die Akademiemitglieder und weitere Experten sind hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem In- und Ausland. In interdisziplinären Arbeitsgruppen erarbeiten sie Stellungnahmen, die nach externer Begutachtung vom Ständigen Ausschuss der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina verabschiedet und anschließend in der *Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung* veröffentlicht werden.

**Deutsche Akademie der
Naturforscher Leopoldina e. V.**

**Nationale Akademie der
Wissenschaften**

Jägerberg 1

06108 Halle (Saale)

Tel.: (0345) 472 39-867

Fax: (0345) 472 39-839

E-Mail: politikberatung@leopoldina.org

Berliner Büro:

Reinhardtstraße 14

10117 Berlin

**acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften e. V.**

Karolinenplatz 4

80333 München

Tel.: (089) 52 03 09-0

Fax: (089) 52 03 09-900

E-Mail: info@acatech.de

Hauptstadtbüro:

Pariser Platz 4a

10117 Berlin

**Union der deutschen Akademien
der Wissenschaften e. V.**

Geschwister-Scholl-Straße 2

55131 Mainz

Tel.: (06131) 218528-10

Fax: (06131) 218528-11

E-Mail: info@akademienunion.de

Berliner Büro:

Jägerstraße 22/23

10117 Berlin