

Innovative Beiträge der Chemie für die Energieversorgung der Zukunft und zur Reduzierung des Energieverbrauchs

Das vorliegende Papier wurde erarbeitet und wird getragen von:

**Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)
Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie (Dechema)
Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK)
Deutsche Bunsen-Gesellschaft für Physikalische Chemie (DBG)
VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC)
Verband der Chemischen Industrie (VCI)**

1. September 2006

Die Bereitstellung von Energie für Haushalt, Gewerbe und Industrie, für Transport und Verkehr wäre in dem derzeitigen Maße ohne die Entwicklungen aus der Chemie undenkbar. Die Chemie ist eine wesentliche Komponente in der Energieversorgung. Sie leistet entscheidende Beiträge zur Energieumwandlung (oft fälschlich als Energieerzeugung bezeichnet), Energiespeicherung, Energienutzung und Energieeinsparung.

Der volkswirtschaftliche Nutzen durch Chemieinnovationen im Energiesektor ist bereits jetzt unverkennbar. Chemiker, andere Naturwissenschaftler und Ingenieure, die chemische und biotechnologische Industrie und die chemisch-wissenschaftlichen Gesellschaften in Deutschland sehen aber noch ein enormes Forschungs- und Entwicklungspotenzial in Deutschland, das industriell umgesetzt werden und somit hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen kann. So bleibt das Ziel, die konventionellen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas wegen ihrer Verknappung immer effizienter zu nutzen, ohne Beiträge aus der Chemie unerreichbar. Zudem kann der Gefahr eines anthropogen verursachten Klimawandels ohne die Schlüsseldisziplinen der Natur- und Ingenieurwissenschaften nicht entgegnet werden. Aber auch das verstärkte Ausschöpfen regenerativer Energiequellen in der Zukunft wird ohne Chemie und ohne den massiven Einsatz katalytischer Technologien ein Wunschtraum bleiben.

Besondere Beachtung verdient, dass die Chemie auf dem Energiesektor nicht nur sich selbst im Blick hat, sondern Lösungen auch und insbesondere für andere Branchen liefert. Deutschland als ein weltweit führender Chemiestandort kann hierbei auf eine hervorragende wissenschaftlich/technologische Infrastruktur zurückgreifen, die uns Wettbewerbsvorteile bei der Lösung der drängenden Energieprobleme verschafft.

Im Folgenden sind einige entscheidende Lösungsansätze beispielhaft aufgeführt. Dabei wurde ein Zeithorizont von 20 Jahren ins Auge gefasst und auf visionäre Aspekte sowie interessante Ansätze aus der Grundlagenforschung, wie beispielsweise die künstliche Photosynthese, verzichtet.

Beiträge der Chemie zur Verbesserung der Energieeffizienz

Energieumwandlung:

- Lichtenergie zu Strom: Die Chemie entwickelt preiswertere, effizientere Materialien und Werkstoffe für Photovoltaik (PV) und Thermoelektrik.
- Lichtenergie zu Biomasse: Die Biomassegewinnung fordert die gesamte Chemie und Biotechnologie heraus: Düngung, Pflanzenschutz und -züchtung, Schutz und Urbarmachung von Böden. Da die Landwirtschaft stärker als alle anderen menschlichen Aktivitäten zusammen Wasser verbraucht, wird Wassermanagement zunehmend auch ein Energiethema. Wasserbereitstellung und -einsparung in der Agrartechnik insbesondere für aride Gebiete sind Schwerpunktaufgaben für die Chemie.
- Biomasse und Kohle zu Nutzenergien und Rohstoffen: Die Verwertung von Biomasse in Bioraffinerien zu Kraftstoffen und Rohstoffen gelingt nur mit neuen Entwicklungen. Erdöl und Erdgas werden ihre Bedeutung in den nächsten zwei Dekaden nicht verlieren. Die Bedeutung der Kohle wird wieder zunehmen. (Bio-) Katalyse und innovatives chemisches Prozessdesign werden den Klimagasausstoß weiter senken helfen.

Energiespeicherung:

Die tages- und jahreszeitlich stark schwankenden Angebote an regenerativen Energien zwingen zur verstärkten Energiespeicherung. Hier einige chemische Systeme, die in Zukunft eine wichtige Rolle spielen werden:

- Stationäre Batteriesysteme wie Natrium-Schwefel-Batterien gehören zu den erfolgversprechendsten Entwicklungen, um Strom regional (Wind) oder lokal (PV) zu speichern. Das Hybridauto wird die Weiterentwicklung mobiler Batterien forcieren.
- Zur Stromspeicherung bietet sich auch die Gewinnung von Wasserstoff an, der entweder direkt genutzt oder auch zur Hydrierung von Biomasse zur Herstellung von Treibstoffen (Biofuels) dienen kann. Kernthemen sind effiziente Methoden zur Wasserstoff-Speicherung sowie eine kostengünstige Wasserelektrolyse.
- Die effizientere Speicherung von Wärme ist eine Herausforderung an die chemische Material- und Werkstoffforschung zur tageszeitlichen und wetterabhängigen Stabilisierung der Raumtemperatur von Gebäuden. Nicht nur der Heiz-, sondern auch der Kühlenergiebedarf kann deutlich gesenkt werden.

Energienutzung:

- Die Brennstoffzelle als effiziente, emissionsfreie Technologie kann eingesetzt werden in stationären Anwendungen, bevorzugt mit Erdgas oder Biogas, in mobilen Anwendungen mit Wasserstoff oder als Bordstromversorgung mit Benzin/Diesel und schließlich für die portablen Anwendungen mit Wasserstoff, Methanol und Flüssiggas. Die Chemie steuert speziell entwickelte Katalysatoren und Elektrolyte als Kernkomponenten bei.
- Das Treibhausgas CO₂ wird in einem zukünftigen Energiemanagement nicht nur als Abfall-, sondern auch als Rohstoff eine Rolle spielen. CO₂ könnte z.B. helfen, Wasserstoff in Form von Methanol zu lagern und zu verteilen.
- Auch die Nutzung von Strom zur Lichterzeugung geht nicht ohne Chemie. Die Entwicklung von Energiesparlampen ist dank neuer Materialien und Werkstoffe aus der Chemie weiterhin in vollem Gange. Es zeichnen sich Technologiesprünge mit LEDs (Light Emitting Diodes) und OLEDs (Organic LEDs) ab.

Energieeinsparung:

- Wärmedämmung bei Hausbau und -renovierung ist ohne isolierende Baumaterialien der chemischen Industrie schon heute nicht denkbar. Neue Kunststoffe und Nanomaterialien werden weitere Effizienzsteigerungen erbringen.
- Autos, Flugzeuge, Schiffe und andere Verkehrsmittel verbrauchen dank Leichtbaumaterialien weniger Energie (beim Fahrrad spürt es der Fahrer direkt). Leichte Hochleistungsmaterialien zu entwickeln, gehört zu den spannendsten interdisziplinären, chemiegetriebenen Arbeitsgebieten.
- In allen stoffumwandelnden Industrien spielt das Ressourcenmanagement zunehmend auch hinsichtlich des Energieeinsparpotenzials eine große Rolle. In der Chemie ist dieser Verbundgedanke durch den stofflichen und energetischen Wert der meisten Ressourcen geprägt. Die Strategien der chemischen Prozessführung sind auf andere Branchen übertragbar.

Will man die hier aufgeführten Beispiele auf besonders zukunftssträchtige Chemiearbeitsgebiete auf dem Energiesektor konzentrieren, so sind nach dem derzeitigen Diskussionsstand folgende drei „**Leuchttürme**“ besonders herausragend:

Als erstes und viele Arbeitsgebiete der Chemie übergreifend:

- das **Smart Energy Home** (Anlage 1)

und mit einem hohem Forschungs- und Entwicklungspotenzial in Deutschland zudem:

- die **Photovoltaik mit den Solarzellen der 3. Generation** (Anlage 2)
- die **Brennstoffzellen** (Anlage 3).

Anlage 1

Integrationsprojekt „Smart Energy Home“

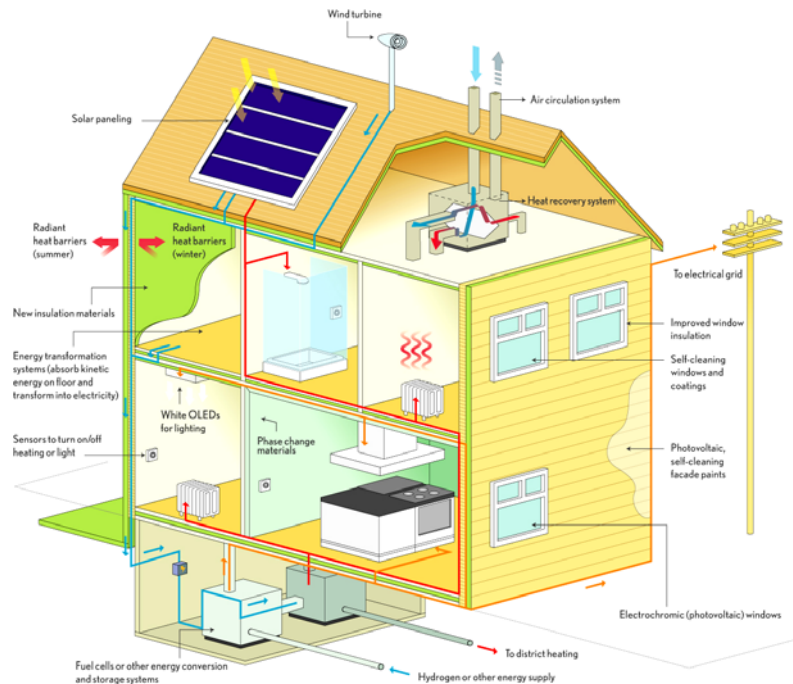
Der Arbeitsgruppe „Forschung und Energieeffizienz“ wird als Leuchtturmprojekt ein Integrationsprojekt „The Smart Energy Home“ vorgeschlagen. Das Projekt befindet sich derzeit noch in der Entwicklungsphase und wird von den großen Industriepartnern der Europäischen Technologieplattform "Nachhaltige Chemie" (ETP "SusChem") unterstützt: in Deutschland BASF, Bayer, Degussa, Procter & Gamble und Dechema. Ziel ist es, die drei Säulen

- Ökoeffizienz
- Energieeffizienz und
- Gesundes Wohnen

zu integrieren und in Form eines Gebäudes zu verwirklichen, visionäre Materialkonzepte und Technologien unter realen Bedingungen zu testen und so die Lücke zwischen Forschung und Markt schneller zu schließen.

Veranschaulicht wird die Integration der Bereiche Materialien, Reaktions- und Prozessdesign und biotechnologische Alternativen zur Ressourcengewinnung in der nebenstehenden Skizze.

Partner entlang der Wertschöpfungskette sind neben den Initiatoren: Hochschulen, Anwender, insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen und Regulierungsbehörden. Der Integration neuer Technologien und innovativer Materialkonzepte in nachhaltige Anwendungen wird im globalen Wettbewerb eine stetig wachsende Rolle zu Teil. Die Verknüpfung von Partnern entlang der Wertschöpfungskette verkürzt die Markteinführungszeiten innovativer Produkte erheblich und trägt so zur Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen bei.



Der Haushalt einer typischen 4-köpfigen Familie verbraucht ca. 4-5000 kWh pro Jahr. Zur Nutzung des Wohnbereiches als Energiequelle der Zukunft könnten Solarzellen der dritten Generation, aber auch andere nachhaltige Energiequellen, wie zum Beispiel die Nutzung von Biomasse und Erdwärme beitragen. Technologiedurchbrüche liegen hier im Bereich flexibler Solarzellen auf Basis von Hybridmaterialien im Niedrigpreissegment, um Solarzellpaneelen durch Photovoltaikanstriche zu ersetzen. Für die Speicherung von Energie im Wohnbereich sind neuartige Batterien mit hoher Flexibilität und Mobilität gefragt. Dazu sind zum Beispiel Entwicklungen auf dem Gebiet nanostrukturierter Elektroden, Ionen-selektiver Membrane, des Computer-Modeling und der Brennstoffzelle notwendig.

Neben der Energiegenerierung ist die kundenfreundliche Integration innovativer und ökoeffizienter Materialien in den Alltag eine Kernkomponente des Projektes. Dazu gehört zum Beispiel die Entwicklung hocheffizienter nanoporöser Schäume für die Wärmedämmung, nanotechnologisch verbesserte selbst heilende Coatings für funktionale und dekorative Zwecke und die Entwicklung und Integration extrem ökoeffizienter Haushaltsgegenstände, wie Waschmaschinen, Heizelemente und Beleuchtungsmittel und effizienterer Abfallverwertungskonzepte. Die Produktentwicklung schließt hier den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen und die Wasseraufbereitung mit ein.

Zur Erreichung der genannten Ziele ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette nötig, aber auch eine horizontale Verknüpfung notwendig, um die kritische Masse auf Forschungs- und Entwicklungsseite zu erreichen.

Anlage 2

Solarzellen der dritten Generation

Der Arbeitsgruppe „Forschung und Energieeffizienz“ (Energiegipfel) schlagen wir als Leuchtturmprojekt die Entwicklung von Solarzellen der dritten Generation vor.

Solarzellen der dritten Generation¹ vereinen kostengünstige Herstellverfahren mit hohen Effizienzen und niedrigem Installationsaufwand. Die resultierenden Stromkosten können sich mit denen der klassischen Stromerzeugungs-Technologien messen und würden eine nachhaltige Solar-Industrie in einem nicht-subventionierten Umfeld ermöglichen.

Der heute rasch wachsende und stark subventionierte Solar-Energie-Markt wird von der Technologie kristalliner Silizium-Zellen dominiert (erste Generation). Das Potenzial und damit die Rentabilität dieser Solarzellengeneration sind aus technischen Gründen hinsichtlich Herstellkosten und Leistungsvermögen der Zellen begrenzt. Die zur Zeit am Markt erscheinenden Dünnschicht-Solarzellen (zweite Generation) mildern lediglich das Kostenproblem der Silizium-Zellen, ohne nennenswerte Effizienz-Vorteile zu bringen, mit denen der Flächenbedarf reduziert werden könnte.

Die Entwicklung von Solarzellen der dritten Generation sehen wir als essentielles Mittel zur Absicherung des Energiebedarfs in rohstoffarmen Ländern an. In der *Solar America Initiative* der US-Regierung werden 148 Mio. \$ eingesetzt, um bis 2015 photovoltaische Systeme zu entwickeln, die kostengleich mit anderen erneuerbaren Energien sind. In Japan ist eine Entwicklung der Photovoltaik bis 2030 geplant, die einen Ersatz konventioneller Energieträger bei Kosten von 7 ¥/kWh zum Ziel hat.

Das vorgeschlagene Projekt soll die Grundlagen für die Entwicklung von Solarzellen der dritten Generation schaffen. Dazu sind technisch-wissenschaftliche Durchbrüche vor allem bei den eingesetzten Halbleiter-Materialien und beim morphologischen Aufbau der Zellen notwendig.

Solarzellen der dritten Generation müssen in der Lage sein, die absorbierte Lichtenergie ohne nennenswerte Wärmeverluste in elektrischen Strom umzuwandeln, um damit Effizienzen von mehr als 30% zu erreichen. Dies gelingt nur, wenn die Energie des Sonnenlichts in mehreren Energiestufen abgegriffen wird. Geeignete Konzepte dafür sind mehrlagige, in Serie geschaltete Zellen oder die Konversion von Anregungsenergien durch 2-Photonen-Prozesse. Die Vielfalt und die speziell abstimmbaren Eigenschaften organischer und metallorganischer Materialien prädestinieren deren Einsatz zur Realisierung solcher Konzepte. Darüber hinaus ermöglichen moderne Methoden der Nanostrukturierung den Aufbau von verfeinerten Morphologien für hochentwickelte Bauteile.

Für die Realisierung eines solchen Vorhabens ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit in einem Forschungskonsortium eine unabdingbare Voraussetzung. In Deutschland existieren hervorragende Forschungsinstitute, die gemeinsam mit BASF und einem noch zu identifizierenden, geeigneten Systempartner dieses Projekt meistern können: Hahn-Meitner Institut Berlin, Max Planck Institut für Polymerforschung Mainz, Institut für Angewandte Photophysik Dresden, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme Freiburg, Lichttechnisches Institut Karlsruhe, Institut für Makromolekulare Chemie Bayreuth, Institut für Hochfrequenztechnik Braunschweig. Selbstverständlich sind wir offen für weitere Anregungen und kompetente Partner, die zum Projekterfolg beitragen können. Den Finanzierungsbedarf des Projekts erwarten wir in der Größenordnung von 150 Mio. € für fünf Jahre.

¹ N. S. Lewis and G. Crabtree, *Solar Today* **2006**, 16-19.

Membranentwicklung für Membranbrennstoffzellen

Die Einführung der Brennstoffzelle in ersten Anwendungen erfolgt derzeit; Deutschland forscht mit den USA und Japan in der Spitzengruppe. So wie die erste verfügbare Membran – die für die Chlor-Alkali-Elektrolyse entwickelte Nafion™-Membran – der Brennstoffzelle zu einem ersten Durchbruch verholfen hat, so wichtig wäre nun eine für die verschiedenen Anwendungen maßgeschneiderte Membran. Das ist zum einen eine Hochleistungsmembran für Betriebstemperaturen um 120°C für den Automobylantrieb und zum anderen eine langlebige Membran für den stationären Einsatz von Membranbrennstoffzellen. Die wichtigsten Technologiepfade für die Automobilindustrie sind in Abbildung 1 zusammengestellt.

<p>Hybridmembran Anorganisch-organische Membranen</p> <p>Partner:</p> <p>3M Deutschland (Koordination) 3M Dyneon FHG IAP Golm RWTH Aachen Universität Bayreuth</p> <p>Basis: z.B.: sPFSA, sPEEK, sPSU</p> <p>Zusätze: anorganische Wasserspeicher anorganische Protonenleiter</p>	<p>Silicium/anorganisch Funktionalisierte siliciumorganische Membranen</p> <p>Partner:</p> <p>Wacker AG (Koordination) FHG ISC Würzburg Universität Bremen Universität Hannover</p> <p>Basis: z.B.: Zeolithe/Heteropolysiloxane/ Ormocere®</p> <p>Funktionalisierung: kovalent geb. saure/basische Gruppen, z.B. Sulfonsäure, Sulfonamid, Füllung poröser Substrate</p>	<p>Intrinsische Leitfähigkeit Neuartige Engineering-Polymere für wasserfreie Protonenleitung</p> <p>Partner:</p> <p>ICVT, Uni Stuttgart (Koordination) IPF Dresden GKSS Geesthacht BTW-Lizenz Stuttgart FHG ICT Wolfsburg</p> <p>Breite Basis möglicher innovativer Ansätze: z.B.: phosphonierte Polymere Erhöhung der Ladungsträgerdichte Imidazolderivate Modifikation funktioneller Gruppen Polyphosphate</p>
---	--	---

Abbildung 1: Technologiepfade der Membranentwicklung für Membranbrennstoffzellen und Konsortien (erarbeitet vom Strategierat Wasserstoff-Brennstoffzelle)

Weitere Aktivitäten zur Membranentwicklung und -beschichtung laufen derzeit z.B. bei den Firmen BASF, PEMEAS, Sartorius und Umicore. Außerdem werden die Charakterisierung und spezielle Beschichtungsexperimente an den Forschungsinstituten DLR, Forschungszentrum Jülich, Fraunhofer ISE, ZBT und ZSW sowie einigen Universitätsinstituten durchgeführt. Eine Zusammenführung zu einem Leuchtturmprojekt würde der Bedeutung der Entwicklungen einen angemessenen Rahmen verschaffen, denn eine breit angelegte Weiterentwicklung der Membran ist dringend geboten, um den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden. Kostenreduktion, Formstabilität, Wassermanagement und Wärmeauskopplung sind die zentralen Themen. Die bislang überwiegend aus den USA bezogenen Membranen und Membran/Elektrodeneinheiten sollen in direkter Absprache zwischen potentiellen Herstellern und Anwendern optimiert werden, eine wichtige Voraussetzung zur baldigen Markteinführung von Produkten mit Brennstoffzellen. Die chemische Industrie und die Automobilindustrie können diese strategisch wichtige Aufgabe leisten, das Automobil der Zukunft und die Wertschöpfungskette seiner Herstellung entscheidend mitzubestimmen. Brennstoffzellensysteme als Klein-BHKW passen zur Dezentralisierung der Energieversorgung und können mit regenerativen Energieversorgungsstrukturen optimal kombiniert werden.

Das Projekt ist offen für weitere Partner und Erfolg versprechende Ansätze der Membranentwicklung.
 Budget: ca. 100 Mio. € in 10 Jahren
 Ansprechpartner: Prof. Angelika Heinzl, ZBT Duisburg