

# Nachhaltige Chemie und die Energieversorgung des Planeten

Marc Fontecave\*



Marc Fontecave  
Collège de France, Paris

Die Energiepolitik ist weltweit ein zentrales Thema, und das Schaffen einer Welt ohne fossile Brennstoffe ist aus mehreren Gründen zwingend erforderlich: 1) Der Vorrat an diesen Brennstoffen ist begrenzt, und man könnte sie sinnvoller in der Produktion einsetzen, statt sie zu verbrennen; 2) Klimatologen nennen als alleinige Ursache der Klimaänderung die Verbrennung fossiler Brennstoffe; 3) bei einer Wirtschaftskrise erfordern die hohen Kosten sowohl drastische Energieeinsparungen als auch Maßnahmen für eine größere Unabhängigkeit von Energielieferanten; 4) die Menschen identifizieren sich mit strengeren Umweltwerten, die den Einsatz sauberer und erneuerbarer Energiequellen erfordern. Darum gibt es heute global Einigkeit, dass eine Änderung, wenn nicht gar eine Revolution im Energiesektor dringend erforderlich ist. Die Änderung kann als der Prozess definiert werden, durch den alle fossilen Brennstoffe (und die Kernenergie) durch erneuerbare Energien ersetzt werden – vorrangig durch Sonnen- und Windenergie, aber auch durch Wasserkraft, Biomasse und Geothermie als Energiequellen. Wie können wir diese Änderung schnellstmöglich erreichen? Hier gibt es zwei Haupthindernisse: ein politisches und ein wissenschaftliches.

Was die Politik angeht, hat es sich wegen unterschiedlicher Wirtschaftssysteme, historischer Entwicklungen und gesellschaftlicher Bedenken als schwierig,

wenn nicht unmöglich erwiesen, eine gemeinsame Antwort zu finden, obwohl globales Handeln höchst angebracht wäre. Das spiegelt sich in den mäßigen Ergebnissen der regelmäßigen internationalen Klimagipfel und im trotz klarer und wiederholter gegenteiliger Empfehlungen zunehmenden Verbrauch fossiler Brennstoffe wider. China will mehr als eine Milliarde Einwohner so billig wie möglich mit Wärme und Elektrizität versorgen; Frankreich hat seine Wirtschaft auf die billige Kernenergie aufgebaut; als größter Kohleproduzent in Europa (und bei Braunkohle in der Welt) setzt Deutschland vor allem auf fossile Brennstoffe; und die USA erleben gerade wieder ein Wirtschaftswachstum dank der Ausbeutung ihres eigenen Schiefergases. Zugleich sind Entwicklungsländer wenig bereit – und wer kann es ihnen verdenken –, auf wirtschaftliches Wachstum und gesellschaftlichen Fortschritt zu verzichten, indem sie Maßnahmen ergreifen, vor denen sich die Industrieländer scheuen.

Das zweite Hindernis für eine rasche Änderung ergibt sich aus der großen Komplexität der wissenschaftlichen und technologischen Fragen, die beantwortet werden müssen. Manche sind der Meinung, dass die Herausforderungen gar nicht so groß sind, und Regierungen behaupten unter dem Druck von Umweltaktivisten, dass die sieben (bald neun) Milliarden Menschen auf der Erde in 30 Jahren ausschließlich erneuerbare Energien nutzen werden. Sie vermitteln fälschlich den Eindruck, dass die Techniken bereits verfügbar sind und nur in größeren Maßstab überführt werden müssen und dass keine Mittel für Forschung und Entwicklung erforderlich sind. Das Ergebnis könnte sowohl eine enorme Vergeudung von Geld

als auch eine große Enttäuschung bei vielen Menschen sein.

Als Chemiker, der mit seinen Mitarbeitern auf dem Gebiet der (Bio)katalyse für neue Energietechnologien arbeitet, zunächst im Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) in Grenoble und heute am Collège de France in Paris, fühle ich mich verpflichtet, das zu erzählen, was ich für die Wahrheit halte. 1. Die Veränderungen im Energiesektor werden länger dauern als geplant. 2. Dafür sind enorme Forschungsanstrengungen in viele Richtungen erforderlich. 3. Regierungen sollten auf populistische oder gar demagogische Entscheidungen verzichten, auch hinsichtlich der „alten“ Techniken (fossile Brennstoffe, Kernenergie). Auch wenn der Tag kommen wird, an dem die Menschheit diese Technologien nicht mehr braucht, tragen sie derzeit paradoxerweise zum Anbruch einer nachhaltigen Welt bei, da sie niedrigere Energiepreise und eine bessere Wettbewerbsfähigkeit der Industrie sicherstellen. Das ist keine pessimistische, sondern nur eine realistische Sichtweise.

Doch zugleich bin ich – wie alle meine Kollegen auf diesem Gebiet – extrem enthusiastisch. Die notwendige Revolution im Energiesektor eröffnet phantastische Perspektiven und spektakuläre Herausforderungen. Das Umwandeln verdünnter und unregelmäßig verfügbarer erneuerbarer Energien in Elektrizität oder Brennstoffe, das effiziente Speichern dieser Energieträger, das Verbessern der Verbrennungseffizienz, das Energiesparen in Gebäuden und Fabriken, das Entwickeln neuer Tech-

[\*] M. Fontecave  
Laboratoire de Chimie des Processus Biologiques, Collège de France  
11 Place Marcelin Berthelot  
75231 Paris Cedex 05 (Frankreich)  
E-Mail: marc.fontecave@college-de-france.fr

nologien für das Einsammeln und Recycling von Materialien und Elementen und auch das Binden von Kohlendioxid sind keine trivialen Aufgaben. Sie bieten Wissenschaftlern eine einzigartige Gelegenheit – wenn man ihnen genug Zeit und Geld gibt –, um das Wissen in Bereichen wie den Materialwissenschaften, der Elektro- und der Photochemie, der Katalyse (einschließlich der Biokatalyse) zu erweitern. Will man sich diesen Herausforderungen stellen, sollte man sich zunächst auf die Entwicklung einer integrierten Strategie konzentrieren, die auf folgenden Punkten basiert: 1) enge Zusammenarbeit von akademischer und industrieller Forschung, die für Innovation notwendig ist; 2) internationale Zusammenarbeit, um unnötige Konkurrenz zu verhindern; 3) interdisziplinäre Ansätze an den Grenzen zwischen Chemie, Physik, Ingenieurwissenschaften und Biologie. Derzeit ist diese Integration leider kaum gegeben, aber sie könnte mithilfe von aktualisierten Programmen für die Ausbildung von Wissenschaftlern und signifikanten Investitionen auf nationaler, kontinentaler und globaler Ebene gestärkt werden.

**H**ier sei der Hinweis erlaubt, dass die Chemie für den Erfolg dieser Änderung des Energiesektors eine zentrale Rolle spielen wird. Chemische Innovationen werden die billigen und stabilen Materialien verfügbar machen, die die Entwicklung ökonomisch sinnvoller technischer Anlagen ermöglichen. Hochschul- und Industrieforscher arbeiten derzeit an neuen festen Halbleitern, molekularen Photosensibilisatoren, Superkondensatoren, Hochtemperatursupraleitern, homogenen und heterogenen Katalysatoren, Polymeren, Harzen, Kunststoffen und Membranen mit besserer Leistung, Beschichtungen und Schmiermitteln sowie nanostrukturierten Elektrodenoberflächen. Diese Materialien sind für eine bessere Gebäudeisolierung, das Minimieren von Verlusten bei der Energieübertragung, leichtere Autos und Windraderblätter, das effiziente Überführen von land- und forstwirtschaftlichen Abfällen in flüssige oder gasförmige Brennstoffe sowie effizientere Solar- und Brennstoffzellen, Elektrolyseure (Energieumwandlung) und (wiederaufladbare) Batterien (Energiespeicherung) entscheidend. Dies belegt

auch der hohe Anteil an Arbeiten mit diesen Begriffen im Titel in der *Angewandten Chemie* in den Jahren 2013 und 2014 sowie das vor kurzem erschienene Sonderheft anlässlich 150 Jahre BASF, das mehrere Aufsätze zu diesem Thema enthält.

**I**llustriert wird der Wert der Chemie bei der Entwicklung immer effizienterer Materialien z.B. mit der Optimierung von Effizienz und Kosten bei Solarzellen. Das Sonnenlicht ist eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle, und es würde genügen, einen kleinen Bruchteil der Sonnenenergie in nützliche Energieträger wie die Elektrizität umzuwandeln, um den Energiebedarf der Welt zu decken. Darum wird die Photovoltaik (PV) zweifellos eine wichtige Komponente der Energiequellen der Welt sein. In letzter Zeit hat die Chemie neue und sehr vielversprechende lichtabsorbierende Materialien mit großer Bandlücke, die anorganisch-organischen Metallhalogenid-Perowskite, geliefert, die vermutlich die PV-Industrie revolutionieren werden, denn sie dürften bald billige Solarzellen mit einer Gesamteffizienz nahe 30 % verfügbar machen.

**D**er Nachteil des Sonnenlichts ist seine täglich, saisonal und regional sich ändernde Intensität. Soll die Sonnenenergie jemals im dem Maß wie fossile Brennstoffe genutzt werden, braucht es eine Methode, sie zu speichern. In der Natur gibt es ein wunderbares Beispiel für die Speicherung der Sonnenenergie: die Photosynthese, bei der mithilfe des Sonnenlichts  $\text{CO}_2$  in organische Verbindungen mit hoher Energiedichte (Biomasse) umgewandelt wird. Davon angeregt haben Chemiker kürzlich erfolgreiche Schritte zu künstlichen Photosynthesesystemen gemacht, wobei sie auf effiziente, kosteneffektive, stabile und reichlich verfügbare synthetische Materialien, sowohl für das Sammeln von Sonnenlicht (Halbleiter) als auch für Katalysatoren, zugreifen konnten. Sie erhielten so hybride Wasserspaltssysteme, die PV und die Photoelektrochemie für die Speicherung von Sonnenenergie in Form von Wasserstoff, einem Brennstoff mit hoher Energiedichte, nutzen. Als nächster Schritt steht der Aufbau ähnlicher Systeme an, in

denen die aus dem Wasser photoextrahierten Elektronen für die Reduktion von  $\text{CO}_2$  zu organischen Produkten genutzt werden, was dann eine „echte“ künstliche Photosynthese wäre.

**D**as Collège de France in Paris, eine sehr alte Einrichtung, die 1530 von König Franz I. mit den vorrangigen Aufgaben „Wissenschaft zu lehren, während sie gerade entsteht“ und „Docet Omnia“ (deutsch: „alles zu lehren“) gegründet wurde, hat kürzlich den Ehrgeiz entwickelt, den Weg zu einer nachhaltigen Welt durch spezifische Investitionen in die Chemie zu unterstützen. Die drei zuletzt eingestellten Chemieprofessoren, deren Gruppen das Institut de Chimie bilden, haben wichtige und sich ergänzende Forschungsprojekte, die sich mit der Entwicklung neuer Energietechnologien befassen, und erhielten renovierte und gut ausgestattete Laborräume. Clément Sanchez und seine Gruppe erweitern das Gebiet der Hybrid-(Nano)materialien, die in der Photovoltaik und -katalyse eingesetzt werden können; Jean-Marie Tarascon entwickelt Batterien der nächsten Generation für die Speicherung von Elektrizität und Anwendungen in Elektrofahrzeugen und -netzwerken durch den Einsatz origineller Elektrodenmaterialien, und seine Gruppe betreibt Grundlagenforschung zum Mechanismus von Redoxreaktionen; meine Gruppe konzentriert sich jetzt in einer Zusammenarbeit mit Vincent Artero in Grenoble auf bioinspirierte homo- und heterogene molekulare Katalysatoren, einschließlich Photo- und Biokatalysatoren, für die  $\text{CO}_2$ -Reduktion, wobei das Ziel eine neuartige Chemie ist, in der  $\text{CO}_2$  das Rohmaterial für die chemische Synthese kommerziell nützlicher Chemikalien und Brennstoffe ist. Wir sind überzeugt, dass dieser Versuch einer multidisziplinären Integration in einem engagierten Institut geeignet ist, um die dringend benötigten Änderungen im Energiesektor Wirklichkeit werden zu lassen.

*Die Zukunft soll man nicht voraussehen wollen, sondern möglich machen.*  
Antoine de Saint Exupéry

#### Zitierweise:

*Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, 54, 6946–6947  
*Angew. Chem.* **2015**, 127, 7050–7051