



### Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy



Von George A. Olah, Alain Goepfert und G. K. Surya Prakash.  
Wiley-VCH, Weinheim 2006. 206 S., geb., 24,90 €.— ISBN 3-527-31275-7

„Satisfying our society's needs while safeguarding the environment and allowing future generations to continue to enjoy planet earth as a hospitable home is one of the major challenges that we face today.“ (S. 1 f.) G. A. Olah und seine Coautoren haben sich diesen Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung gestellt. Sie haben ein außerordentlich wichtiges Buch vorgelegt. Es ist wichtig in seinen richtungsweisenden Vorschlägen, aber auch in seinen Fehleinschätzungen. Es richtet sich nicht nur an Naturwissenschaftler und Ingenieure, sondern auch an Politiker und Meinungsträger. Gerade deshalb muss es intensiv und breit diskutiert werden. Die Autoren machen in ihrem Buch Vorschläge für eine künftige Energiewirtschaft, wenn Öl und Gas weitgehend verbraucht sein werden. „We have no choice but to develop new sources and technologies in order eventually to replace fossil fuels. The time to do this is now, when we still have extensive sources of fossil fuels available to make the inevitable changes gradually, without major disruptions or crises.“ (S. 26).

Folgende wesentliche Herausforderungen werden benannt: 1) Die fossilen

Ressourcen gehen tatsächlich zu Ende. Wir brauchen Alternativen zur Produktion der notwendigen Energie, der Treibstoffe und Chemikalien (S. 51 ff.). 2) Der vom Menschen verursachte Klimawandel ist real. Die Treibhausgasemissionen müssen begrenzt und reduziert werden (S. 72 ff.). 3) Es ist völlig unklar, in welcher Form wir künftig Energie, wenn wir sie produzieren können, lagern, transportieren und nutzen werden (S. 132). 4) Letztendlich wird die effiziente und ökonomische Produktion von Treibstoffen und organischen Chemikalien aus CO<sub>2</sub> und Wasser notwendig (S. 7, 256).

Die Lösungen, die die Autoren vorschlagen, sind: 1) Die notwendige Energie wird, wenn alle fossilen Energiereserven verbraucht sind, überwiegend von Kernreaktoren, einschließlich Brut- und schließlich Fusionsreaktoren, geliefert. 2) Das chemische Recycling von CO<sub>2</sub> ist notwendig als Alternative zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung zur Lösung des CO<sub>2</sub>-Problems und schließlich, um die Menschheit von ihrer Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen zu befreien. 3) Methanol ist ein weitaus geeigneterer Energiespeicher als Wasserstoff.

Zur Untermauerung dieser Lösungsvorschläge werden zunächst in sieben Kapiteln alle Arten von fossilen Energieformen, ihre Endlichkeit, die Reserven und das mit ihnen verbundene CO<sub>2</sub>-Problem diskutiert und mit umfangreichem Zahlenmaterial belegt. So reichen bei einer Fortschreibung des gegenwärtigen Verbrauchs die gesicherten und ökonomisch abbaubaren Reserven von Erdöl, Erdgas und Kohle, die zu 35, 21 bzw. 23% zum Weltenergieverbrauch beitragen, 40, 60 bzw. 170 Jahre. Nimmt man noch weitere fossile Reserven wie weniger abbaubare Kohle, Ölsände und Ölschiefer hinzu, so werden Schätzungen von nicht mehr als 200 bis 300 Jahren genannt, allerdings wieder bezogen auf den heutigen Verbrauch und seine heutige Verteilung (S. 27).

Eine einfache Rechnung, die die Autoren leider nicht angestellt haben, zeigt, dass diese gesicherten Reserven in 82 Jahren – wohl gemerkt beim gegenwärtigen Verbrauch – vollständig aufgebraucht sein werden. Nehmen wir zusätzlich einmal an, dass alle Menschen durchschnittlich soviel Energie ver-

brauchen wollen wie heute die Einwohner der OECD-Länder, was man ihnen ja kaum verwehren kann, dann wäre alles schon in etwa 27 Jahren aufgebraucht. Zwischen 27 und 82 Jahren bewegen sich also die so genannten gesicherten Reserven. Hierbei sind noch nicht einmal die wachsende Erdbevölkerung – bis 2050 um 50% auf etwa 9 Milliarden Menschen – und der dadurch wachsende Energiebedarf berücksichtigt. Die Konsequenzen für die anstehenden Verteilungskämpfe sind leicht auszumalen und täglich in den Nachrichten zu sehen. Deshalb ist den Autoren nachdrücklich zuzustimmen, wenn sie feststellen, dass die letzten Reserven an fossilen Energien, die wir gerade im Begriff sind zu verbrauchen, genutzt werden müssen, um die Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Zivilisation zu schaffen (S. 26).

In Kapitel 7 wird der Zusammenhang zwischen der Nutzung fossiler Rohstoffe und dem Klimawandel diskutiert, und folgerichtig wird die Notwendigkeit des Übergangs zu Brennstoffen, die weniger oder kein CO<sub>2</sub> freisetzen, deutlich gemacht. Hier auf S. 81 werden sowohl die erneuerbaren Energien einschließlich der Biomasse als auch die Kernenergie und die Kernfusion angesprochen, und es wird sogleich kategorisch festgestellt, was die Autoren davon halten: „Wind, solar, and geothermal energy and energy from the combustion of biomass represent an increasing—but still small—fraction of our energy needs. One of the main obstacles to a wider application of these renewable energy sources is their cost, as well as technological limitations. All this makes the use and extension of nuclear fission power, which is a well established and reliable source of energy that does not emit CO<sub>2</sub>, inevitable on a massive scale for the future. Of course, nuclear power should be made even safer, and problems of the storage and disposal of radioactive waste must be solved. There is also a need to develop new generations of nuclear reactors, including breeder reactors and eventually controlled fusion.“ Dies wird im folgenden Kapitel 8, in dem die erneuerbaren Energien und die Kernenergie bemerkenswerterweise gemeinsam abgehandelt werden, ausführlicher diskutiert. Aber das Entscheidende ist in den

oben zitierten Sätzen gesagt. Es ist erstaunlich, wie auf der einen Seite die Kernenergie als größte technologische und im Prinzip unproblematische Erlungenschaft der Menschheit im 20. Jahrhundert vorgestellt wird (S. 255), während die Nutzung der Biomasse in der notwendigen Größenordnung als unmöglich dargestellt wird. So glauben die Autoren, dass die Endlagerung des Nuklearmülls niemals ein unlösbares Problem war, mit der bemerkenswerten Begründung: „If we were able to build the atomic bomb, we certainly should be able to solve the problem of radioactive by-products and waste.“ (S. 126) Tschernobyl wird angesprochen als Folge menschlichen Versagens, des Fehlens von Sicherheitsmaßnahmen und schlechter Konstruktion.

Bezeichnenderweise wird auch noch erklärt, dass sich in Tschernobyl keine nukleare, sondern eine chemische Explosion ereignete (S. 123). Für eine tiefgehende Diskussion um eine Nutzung der Kernenergie nach Tschernobyl einschließlich der Endlagerung sollte der Leser besser auf die Artikel zurückgreifen, die zum 20. Jahrestag der Katastrophe in *Nature* (2006, 440, 7087) erschienen sind. Der Leser hätte auch erwartet, dass die prinzipiellen Probleme um die Nutzung der Kernenergie in politisch instabilen Staaten und Regionen, wie aktuell im Iran, angesprochen werden. Leider wird hierzu nichts gesagt.

Letztendlich soll die Kernfusion als Energiequelle der Zukunft den steigenden Energiebedarf der Menschheit befriedigen. Die Autoren haben den festen Glauben, dass der Fusionsreaktor in diesem Jahrhundert praktisch laufen wird und schließlich der Menschheit eine unerschöpfliche Energiequelle sein wird (S. 130 f.). Der kürzlich verstorbene W. E. Parker kommt in seiner Untersuchung zu den Kosten, Möglichkeiten und Problemen des Fusionsreaktors allerdings zu einer ganz anderen Schlussfolgerung: „It's time to sell fusion for physics, not power“ (Science 2006, 311, 1380). Parker hat damit wahrscheinlich Recht.

Seit mehr als fünfzig Jahren werden Milliarden Dollar, Rubel und Euro ausgegeben für das utopische Versprechen des Fusionsreaktors. Leider diskutieren die Autoren nicht tiefgehend

die umfangreiche Literatur zur effizienten Nutzung des Fusionsreaktors Sonne auf dem Weg über die Biomasse. Für die nachwachsenden Rohstoffe wird lediglich das Resümee gezogen, dass sie sicherlich eine steigende Bedeutung in unserem künftigen globalen Energiemix spielen, aber nicht in der Lage sein werden, die jetzt aus fossilen Rohstoffen gewonnene Energie zu ersetzen. Viele Vorteile der Biomasse als Energiequelle werden genannt. Sie ist ein guter Energiespeicher; sie bietet feste Brennstoffe wie Holz, flüssige wie Bioethanol und Biodiesel sowie gasförmige in der Form von Biogas; sie ist CO<sub>2</sub>-neutral. Es wird zu Recht festgestellt, dass die Energiepflanzen vorzugsweise auf Land angebaut werden sollen, das nicht für den Anbau von Nahrungspflanzen genutzt wird, um eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu vermeiden. Weiter sollen möglichst geringe Mengen an Düngemitteln, Herbiziden und Insektiziden sowie an Wasser eingesetzt werden. Aber: Es würde ein großer Teil der Ackerbauflächen der Welt für den Energiepflanzenanbau benötigt, wenn ein erheblicher Anteil der erforderlichen Energie daraus bereitgestellt werden sollte.

Zusammenfassend wird deshalb festgestellt: „Biomass can provide a significant but nevertheless limited amount of energy that is inadequate to sustain our modern society's needs.“ Leider diskutieren die Autoren nicht Vorschläge, die durch die Tätigkeit der Menschheit in historischer Zeit in allen Erdteilen degradierten und verwüsteten Milliarden Hektar an ehemals bewaldeten Flächen zu rekultivieren und aufzuforsten und dadurch kontinuierlich genügend Biomasse für den künftigen Energiebedarf zu gewinnen. Das ist in der Tat eine große Herausforderung für Wissenschaft und Technik.

In Kapitel 9 werden ausführlich die Wasserstoffökonomie und insbesondere die damit verbundenen Probleme besprochen. Für den Chemiker – aber leider nicht für die meisten Politiker – ist es selbstverständlich, dass Wasserstoff keine Primärenergiequelle, sondern nur ein Energieträger ist, und dass seine physikalischen Eigenschaften dazu denkbar ungeeignet sind. Eine völlig neue und teure Infrastruktur müsste aufgebaut werden, um den Verbraucher

mit Wasserstoff zu versorgen. Dies führt die Autoren direkt zum Konzept der „Methanolwirtschaft“, das davon handelt, wie Energie am besten gespeichert und genutzt werden kann. Sie entwickeln im Detail in den Kapiteln 10–14, dass Methanol dazu optimal geeignet ist: „It is suggested that methanol be used as (i) a convenient energy storage medium; (ii) a readily transported and dispensed fuel, including uses in methanol fuel cells; and (iii) as a feedstock for synthetic hydrocarbons and their products ...“ (S. 170). Zur Produktion von Methanol braucht man eine Kohlenstoff- und eine Wasserstoffquelle. Diese ist gegenwärtig für beide überwiegend das Erdgas. Für die Zeit nach dem Erdgas und nach der Kohle schlagen die Autoren vor, CO<sub>2</sub> zu Methanol zu hydrieren. Der notwendige Wasserstoff soll aus Wasser als unerschöpflicher Quelle mit jeder vorhandenen Energie, insbesondere Kernenergie, durch Elektrolyse gewonnen werden. Das CO<sub>2</sub> soll beispielsweise aus den Abgasen von Kohlekraftwerken, solange es diese noch gibt, erhalten werden, und schließlich: „The carbon source will eventually be the air, which is available to all on earth, while the required energy will be obtained from alternative energy sources, including atomic energy. ... At the same time, the ‚Methanol Economy‘ by recycling excess atmospheric CO<sub>2</sub>, will mitigate one of the major adverse effects on the earth's climate caused by mankind, namely global warming.“ (S. 170 f.) „As the CO<sub>2</sub> content of the atmosphere is low (0.037%), new and efficient ways for the separation of CO<sub>2</sub> are needed.“ (S. 258) Natürlich erwähnen die Autoren, dass die Natur selbst CO<sub>2</sub> in der Photosynthese recycelt (S. 258), wenn auch nur mit einer Effizienz von 1% (S. 108). Aber: „The subsequent formation of fossil fuels from plant life is, however, a very slow process requiring hundred of millions of years.“ Es ist schon äußerst bemerkenswert, dass die Autoren gerade in diesem Punkt ihr Vertrauen in die Wissenschaft und in die Fähigkeiten der Chemiker verlieren. Es ist gerade die große Herausforderung für Chemiker und Ingenieure, die Energie und den Kohlenstoff, die in der Biomasse und insbesondere in der Lignocellulose, also in Holz, gebunden sind, für unsere mo-

derne Zivilisation verfügbar zu machen. Darüber gibt es eine umfangreiche Literatur. Ein wichtiger Weg, dessen technische Realisierung sicher möglich ist und der auch unter Berücksichtigung ökonomischer Gesichtspunkte bald zur Verfügung stehen wird, ist die Konversion der Lignocellulose zu Wasserstoff und Kohlenmonoxid (S. 229 ff.). Die Konversion des Synthesegases zu Methanol oder in einem Fischer-Tropsch-Prozess zu Kohlenwasserstoffen ist natürlich heute Stand der Technik. Die Methanolwirtschaft wäre also zu realisieren, auf jeden Fall technisch. Die entscheidende Frage ist aber, ob, wie und wo die riesigen Mengen an Lignocellulose, die benötigt werden, zur Verfügung stehen. Dazu ist oben bereits Einiges gesagt.

Es ist auffällig, dass in diesem Buch viele quantitative Daten genutzt werden, leider aber keine, die sich aus der von den Autoren vorgeschlagenen Methanolproduktion aus  $\text{CO}_2$  und Wasser ergeben. Deshalb seien diese hier ergänzt, da sie von Bedeutung sind. Zur Produktion der Menge an Methanol, die der im Jahr 2004 verbrauchten Menge an  $4 \times 10^9$  t Erdöl äquivalent ist, müssten aus der Luft etwa  $12 \times 10^9$  t  $\text{CO}_2$  abgetrennt und zur Erzeugung des zur Reduktion benötigten Wasserstoffs  $15 \times 10^9$  t Wasser elektrolysiert werden, mit der Energie aus etwa 5000 1-GW-Reaktoren. Anders ausgedrückt: Einer

Methanolanlage mit einer Kapazität von  $1 \times 10^6$  Tonnen pro Jahr wäre eine  $\text{CO}_2$ -Anlage von  $1.4 \times 10^6$  t/a und eine Wasserelektrolyse von  $1.7 \times 10^6$  t/a zugeordnet und zusätzlich zur Erzeugung der notwendigen elektrischen Energie für die Elektrolyse ein 1-GW-Kern-, -Fusions- oder sonstiger -Reaktor.

Andererseits kann die gleiche Menge an Methanol erhalten werden durch Aufforstung von etwa 300–500 Millionen Hektar degradiertes Landflächen und Konversion der auf diesen Flächen geernteten etwa  $10 \times 10^9$  t Holz pro Jahr zu Methanol. Für eine Methanolanlage mit einer Kapazität von  $1 \times 10^6$  t/a wäre eine Fläche von etwa 100 000 ha notwendig. Im Unterschied zu Kernreaktoren hat eine Aufforstung weitere außerordentlich wichtige positive Folgen, die leider in dem ganzen Buch nicht diskutiert werden: 1) Sie stoppt die weitere Verwüstung der Welt. 2) Sie regeneriert und stabilisiert nachhaltig die globalen Wasser- und Trinkwasserressourcen. 3) Sie ist die Grundlage für eine nachhaltige Versorgung der auf 9 Milliarden anwachsenden Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln und anderen notwendigen Gütern. 4) Sie ist die einzige sich derzeit abzeichnende Strategie für die Schaffung von hochwertigen Arbeitsplätzen im ländlichen Raum der Entwicklungsländer. 5) Sie ist billig im Vergleich zu allen anderen vorgeschlagenen Strategien. 6) Sie kann

umgehend eingeleitet werden, wirkt sich in wenigen Jahren aus und ist innerhalb von wenigen Jahrzehnten umgesetzt.

*Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy* ist ein hochaktuelles Buch, das die richtigen Fragen unserer Zeit aufwirft und zur intensiven Diskussion um die richtigen Antworten beitragen wird. Einige der Fragen werden richtungsweisend beantwortet. Methanol ist ein geeigneter Energiespeicher. Der Kohlenstoff für flüssige Treibstoffe und Chemikalien wird aus der Atmosphäre gewonnen, womit das  $\text{CO}_2$ -Problem gelöst wird, allerdings nicht durch irgendwelche technischen  $\text{CO}_2$ -Abtrennanlagen, wie die Autoren vorschlagen, sondern wie seit Millionen von Jahren am besten mittels Photosynthese durch Bäume. Die notwendige Energie dazu wird, wie seit Millionen von Jahren, durch Kernfusion erzeugt, allerdings nicht auf der Erde, wie die Autoren vorschlagen, sondern auf der Sonne, und die Pflanzen nutzen diese Energie, „allowing future generations to continue to enjoy planet earth as a hospitable home“.

Jürgen O. Metzger

Institut für Reine und Angewandte  
Chemie  
Universität Oldenburg

DOI: 10.1002/ange.200685410