



## Beyond Oil and Gas: Vorschläge für eine künftige Energiewirtschaft

Jürgen O. Metzger; [juergen.metzger@uni-oldenburg.de](mailto:juergen.metzger@uni-oldenburg.de)

Aloys Hüttermann; [ahuette@gwdg.de#](mailto:ahuette@gwdg.de#)

**Abstract.** Unterschiedliche Vorschläge für eine künftige Energiewirtschaft liegen vor. Der wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU) legt das Hauptgewicht auf die Entwicklung der Nutzung der Sonnenenergie und der Wasserstofftechnologie. Olah schlägt vor, die notwendige Energie überwiegend mit Kern-, einschließlich Brut- und schließlich Fusionsreaktoren, zu erzeugen, CO<sub>2</sub> – als Alternative zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung – chemisch-technisch zu recyceln und Methanol als – im Vergleich zu Wasserstoff – weitaus geeigneteren Energiespeicher zu verwenden. Wir schlagen vor, die terrestrische Biosphäre, insbesondere die Bäume, als das effizienteste und über Millionen Jahre erprobte System zum Recycling von CO<sub>2</sub> zu nutzen. 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 Synthesegas und weiter zu Methanol oder Kohlenwasserstoffen. Die Aufforstung von durch menschliche Tätigkeit degradierten Flächen wird genügend Biomasse für eine nachhaltige globale Energie-, Treibstoff- und Chemikalienversorgung bereitstellen, verbunden mit zusätzlichen wichtigen positiven Effekten.

### Was kommt nach Erdöl, Erdgas und Kohle, unseren fossilen Energiereserven?

Bei einer Fortschreibung des gegenwärtigen Verbrauchsreichen 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<sup>1</sup>. Eine einfache Rechnung zeigt, dass diese gesicherten Reserven in 82 Jahren, wohlgermerkt beim gegenwärtigen Verbrauch, vollständig aufgebraucht sein werden. Nehmen wir zusätzlich einmal an, dass alle Menschen durchschnittlich soviel Energie verbrauchen wollen wie heute die Einwohner der OECD-Länder, was man ihnen ja kaum verwehren kann, dann wäre alles schon in etwa 27 Jahren aufgebraucht. Nimmt man noch die weiteren fossilen Reserven wie weniger abbauwürdige Kohle, Ölsände, Ölschiefer u.a. hinzu, so werden Schätzungen von nicht mehr als 200 bis 300 Jahren genannt, allerdings wieder bezogen auf den heutigen Verbrauch und seine heutige Verteilung. Ein Anwachsen des Weltenergieverbrauchs auf den heutigen OECD-Durchschnitt reduziert diese Schätzungen auf 60 bis maximal 100 Jahre. Zwischen 27 und 82 Jahren bewegen sich also die so genannten gesicherten Reserven, und wenn auch noch die letzten fossilen Reserven aus der Erde geholt werden, dann vielleicht 100 Jahre. Hierbei sind noch nicht einmal die wachsende Erdbevölkerung – bis 2050 um 50% auf etwa 9x10<sup>9</sup> Menschen – und der dadurch wachsende Energie-

bedarf berücksichtigt. Die Konsequenzen für die anstehenden Verteilungskämpfe sind leicht auszumalen und täglich in den Nachrichten zu sehen. Deshalb sollten die letzten fossilen Energien, die wir gerade im Begriff sind zu verbrauchen, genutzt werden, um die Voraussetzungen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Zivilisation zu schaffen. Denn mit der Mobilisierung der letzten fossilen Kohlenstoffverbindungen und deren Transformation in CO<sub>2</sub> werden auch die Treibhausgasemissionen verstärkt und der Klimawandel beschleunigt.<sup>2</sup>

Die große Herausforderung der Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung ist primär eine Herausforderung für Chemiker, da die Chemie die Hauptrolle in der Nutzung neuer Energiequellen spielen muss, wie in dem IUPAC-Projekt „Alternative scenarios for energy production in future“ 1999 festgestellt wurde<sup>3a</sup>. Damals wurde noch sehr vorsichtig formuliert, dass viele der außerordentlich wichtigen Probleme einer Strategie der künftigen Energieversorgung diktiert sind durch die entscheidende Frage, ob die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu einem irreversiblen Treibhauseffekt führen werden. Je nachdem, wie diese Frage zu beantworten sei, würde eine unterschiedliche Strategie resultieren.<sup>3b</sup>

Nur wenige Jahre später müssen wir endlich ganz klar mit Olah et al<sup>4</sup>. und vielen anderen feststellen:

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

### Konzepte für eine zukünftige Energieversorgung

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU) sieht die Probleme ähnlich. Die Lösungen, die von verschiedenen Seiten vorgeschlagen werden, sind allerdings sehr unterschiedlich.

<sup>2</sup> J. O. Metzger, *Angew. Chem.* **2006**, *118*, 5167–5169

<sup>3</sup> Chemistry for the Energy Future, Hrg. V.N. Parmon, H. Tributsch, A.V. Bridgwater, D.O. Hall, Blackwell Science, Oxford **1999**  
<sup>3a</sup> S.3; <sup>3b</sup> S. 231.

<sup>4</sup> G. A. Olah, A. Goepfert, G. K. Surya Prakash, *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*, Wiley- VCH, Weinheim, **2006**

<sup>1</sup> ENERGIE DATEN 2003, Nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin **2004**.

Die National Academy of Engineering und der National Research Council of the National Academies propagieren ausschließlich die chemisch-technische CO<sub>2</sub>-Sequestrierung<sup>5</sup>. Dabei wird das CO<sub>2</sub> mit enormem Aufwand und völlig nutzlos tief in der Erde eingelagert, so dass es möglichst nie mehr in die Atmosphäre gelangt.

Der WBGU schlägt eine *Nachhaltige Flächennutzung* vor. „10–20% der weltweiten Landfläche sollten dem Naturschutz vorbehalten bleiben. Eine Umwandlung natürlicher Ökosysteme zum Anbau von Bioenergieträgern ist grundsätzlich abzulehnen. Bei Nutzungskonflikten muss die Sicherung der Nahrungsmittelversorgung Vorrang haben. Daher sollten nicht mehr als 3% der weltweiten Landfläche für den Anbau von Bioenergiepflanzen und für Plantagen zur Kohlenstoffspeicherung genutzt werden. Aus diesen Gründen kann die moderne Bioenergie nur eingeschränkt ausgebaut werden.“<sup>6</sup> Der WBGU schlägt vor, den Weltprimärenergiebedarf der Menschheit - im Jahr 2000 420 Exajoule (420 x 10<sup>18</sup> Joule) – durch verschiedene alternative Energien zu erzeugen. „Die Analysen des WBGU ergaben für die Windkraft ein nachhaltiges Potenzial von ca. 140 Exajoule pro Jahr, für die Geothermie ca. 30 Exajoule pro Jahr und für die Bioenergie ca. 100 Exajoule pro Jahr. Das nachhaltige Potenzial der Wasserkraft schätzt der WBGU mit Blick auf zu Recht gestiegene Anforderungen an Umwelt- und Sozialverträglichkeit vorsichtig mit 15 Exajoule pro Jahr ein. Nach heutigem Kenntnisstand wird lediglich für die Nutzung der Sonnenenergie zur Erzeugung von z. B. Strom, Wärme oder Wasserstoff in Relation zu allen Projektionen menschlichen Energieeinsatzes keine Begrenzung gesehen. Das nachhaltige Potenzial der Sonnenenergie ist somit gemessen am menschlichen Energiebedarf unbegrenzt.“ Der WBGU will also die restlichen etwa 135 Exajoule aus Sonnenenergie erzeugen. Denn sein Vorschlag beinhaltet in der Tat einen Ausstieg aus der Kernenergie und einen gewaltigen Ausbau des Solarstroms und des solar erzeugten Wasserstoffs. Leider unterschätzt der WBGU das Potential der Biomasse-nutzung beträchtlich.

Der Chemienobelpreisträger Olah schlägt etwas vollständig anderes vor:

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.

<sup>5</sup> Anonymus, The Carbon Dioxide Dilemma, Promising Technologies and Policies (2003b), <http://www.nap.edu>

<sup>6</sup> Anonymus, Erneuerbare Energien für eine nachhaltige Entwicklung: Impulse für die *renewables 2004*, S.4 Politikpapier WBGU, Berlin, 2004, ISBN 3-936191-05-0

Einige der wesentlichen Fragen werden von Olah richtungweisend beantwortet. Methanol ist sicherlich ein geeigneterer Energiespeicher als Wasserstoff. Der Kohlenstoff für flüssige Treibstoffe und Chemikalien muss künftig aus der Atmosphäre gewonnen werden, womit das CO<sub>2</sub>-Problem gelöst wird, allerdings nicht durch irgendwelche technischen CO<sub>2</sub>-Abtrennanlagen, wie sie Olah vorschlägt.

## Realistische Wege zur künftigen Energieversorgung – das Konzept der GDCh

Die Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der GDCh veröffentlichte kürzlich ein Positionspapier und stellte fest, dass die über Millionen Jahre erprobte Form der Festlegung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre sei die Produktion von Biomasse<sup>7</sup>. Diesen Standpunkt hat sich auch der Vorstand der GDCh zu eigen gemacht. Die notwendige Energie dazu wird, wie seit Millionen von Jahren, auch durch Kernfusion erzeugt, allerdings nicht auf der Erde, wie Olah vorschlägt, sondern auf der Sonne, und die Pflanzen nutzen diese Energie „allowing future generations to continue to enjoy planet earth as a hospitable home“.

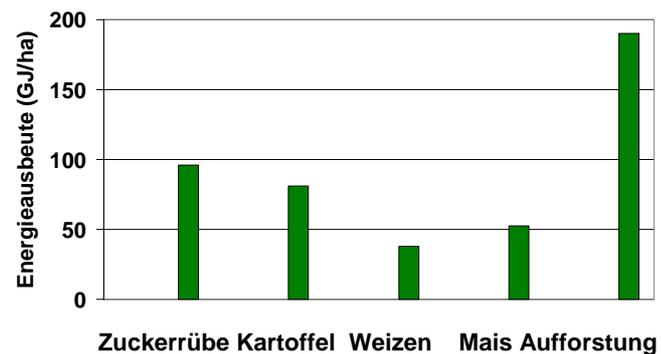


Abb. 1: Flächenbezogene Energieausbeute pro Jahr und Hektar, die beim Anbau verschiedener Pflanzen erzielt wird<sup>8</sup>

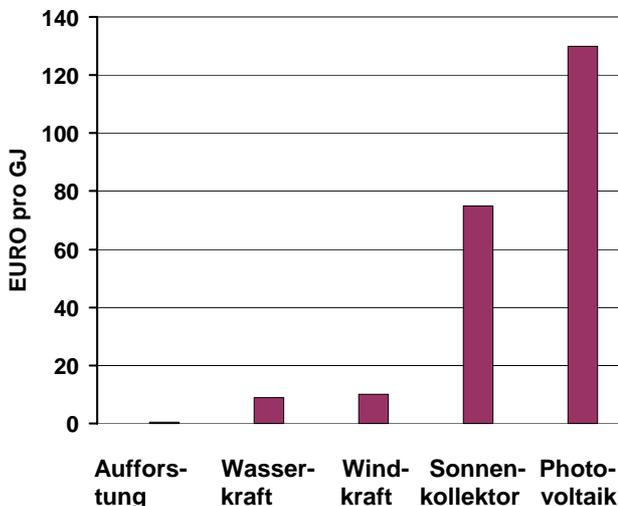
Wir haben kürzlich die Möglichkeit aufgezeigt, die notwendige Energie für eine nachhaltige Entwicklung im Weltmaßstab überwiegend aus Biomasse und insbesondere Holz zu gewinnen. Dazu eine kurze Überschlagrechnung. Holz hat einen durchschnittlichen Energieinhalt von 17x10<sup>9</sup> J pro Tonne. Bei einer Effizienz der Energieumwandlung von 80%, die möglich sein sollte, bisher aber noch nicht erreicht ist, würden also jährlich ca. 30 Mrd. Tonnen Holz für den Primärenergieeinsatz der Menschheit (siehe oben) benötigt. In den gemäßigten Breiten ist ein jährlicher Holzzuwachs von bis zu durchschnittlich 20 t/ha in Kurzumtriebsplantagen zu erreichen, in tropischen Trockenwäldern von 30 t/ha. Das bedeutet, dass eine Fläche von 1 Mrd. Hektar tropischer

<sup>7</sup> Positionspapier der Fachgruppe zu dem Beschluss des Rats für Nachhaltige Entwicklung "Perspektiven der Kohle in einer nachhaltigen Energiewirtschaft" vom 30. 09. 2003 <http://www.oekochemie.tu-bs.de/ak-umweltchemie/start.php>

<sup>8</sup> Th.Voeste, Holz als Rohstoff für Chemie und flüssige Kraftstoffe, in A.. Hüttermann, (Hrsg.): *Der Wald als Rohstoffquelle*, Frankfurt a/M., J.D. Sauerländer's Verlag, 1981

Trockenwald bzw. 1.5 Mrd. Hektar Wald in den gemäßigten Zonen benötigt wird. Landwirtschaftliche Flächen stehen dafür nicht zur Verfügung. Sie werden für die steigende Nahrungsmittelproduktion für die auf 9 Milliarden steigende Weltbevölkerung benötigt, wie auch der WBGU zu Recht feststellte. Die bestehenden Wälder können dafür nur partiell genutzt werden. Es stehen aber weltweit genügend Flächen zur Wiederaufforstung zur Verfügung. Die Menschen haben in historischer Zeit durch ihre Tätigkeit in allen Erdteilen Milliarden Hektar an ehemals bewaldeter Fläche verwüstet. Das Beispiel Chinas zeigt, dass immense Flächen, die landwirtschaftlich nicht nutzbar sind, für Aufforstungen zur Verfügung stehen.

Die Verwüstung schreitet gegenwärtig mit Riesenschritten weiter voran. Es ist die größte transdisziplinäre Herausforderung für Wissenschaft und Technik, die Verwüstung zu stoppen, umzukehren und die Milliarden Hektar verwüsteten Landes wiederaufzuforsten und die Lignocellulose kontinuierlich zu nutzen zur Produktion des Methanols bzw. der Kohlenwasserstoffe, die benötigt werden für den globalen Energieverbrauch. Die Beiträge der Chemie zur Lösung dieser Aufgabe werden von außerordentlicher Bedeutung sein.<sup>9</sup> Darüberhinaus ist mit der Aufforstung die höchste flächenbezogene Energieausbeute pro Jahr (Abbildung 1) zu erzielen. Die gewonnene Energie ist im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieformen am preiswertesten (Abbildung 2).



**Abb. 2:** Gesamtkosten für die Erzeugung von einem GJ erneuerbarer Energie in Abhängigkeit von dem eingesetzten Verfahren<sup>10</sup> (für Aufforstung 0,5 €/GJ, eigene Berechnung), Photovoltaik<sup>11</sup>)

Ein Problem ist, dass es aus verschiedenen Gründen für viele Naturwissenschaftler und Techniker leichter vorstellbar ist, einen Fusionsreaktor auf der Erde zu bauen und damit Strom

zu produzieren, als sich vorzustellen, dass aus Holz im Maßstab von hunderttausenden Tonnen pro Jahr kontinuierlich Methanol oder Treibstoff produziert werden kann. Dies muss praktisch gezeigt werden. Wir schlagen vor, beispielhaft 30.000ha mit schnell wachsenden Baumarten aufzuforsten, das Holz regelmäßig zu ernten – 450.000 – 600.000 t/a – und in einer zugeordneten, zentral gelegenen chemischen Anlage zu Treibstoffen z. B. 224.000 - 300.000 t/a Methanol oder 112.000 - 150.000 t/a Diesel (Biomass to Liquid)<sup>12</sup> und/oder in einem Kraftwerk in elektrische Energie zu konvertieren. Auf diesen aufgeforsteten produktiven Flächen werden 810.000 – 1.080.000 t/a Kohlendioxid (das entspricht etwa 0,1 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands) in Form von Holz gebunden, das CO<sub>2</sub>-neutral als Treibstoff bzw. Energie genutzt werden kann. Die vorgeschlagene Einheit von „Aufforstung mit anschließender Konversion der Biomasse zu Treibstoffen“ ist als Modell zu verstehen, das weltweit übernommen und exportiert werden kann.

Die vorgeschlagene Aufforstung hat außerordentlich wichtige positive Konsequenzen im Gegensatz zum Ausbau der Solarenergie wie vom WBGU oder zum Ausbau der Kernenergie wie von Olah vorgeschlagen:

- Sie ist die einzige Methode, die, konsequent umgesetzt, den Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Atmosphäre nicht nur stoppen, sondern den CO<sub>2</sub>-Gehalt sogar reduzieren kann.
- Sie stoppt die weitere Verwüstung der Welt. Sie regeneriert und stabilisiert nachhaltig die globalen Wasser- und Trinkwasserressourcen.
- Sie ist die Grundlage für eine nachhaltige Versorgung der auf 9 Mrd. anwachsenden Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln und andern notwendigen Gütern.
- Sie ist die einzige sich derzeit abzeichnende Strategie für die Schaffung von hochwertigen Arbeitsplätzen im ländlichen Raum der Entwicklungsländer.
- Sie ist billig im Vergleich zu allen andern vorgeschlagenen Strategien. Sie kann umgehend eingeleitet werden, wirkt sich in wenigen Jahren aus und ist innerhalb von wenigen Jahrzehnten umgesetzt.

#### Korrespondenzadressen:

Prof. Dr. Jürgen O. Metzger  
abiosus e.V.,  
Bloherfelder Straße 239  
26129 Oldenburg

Prof. Dr. Aloys Hüttermann  
Institut für Forstbotanik  
Universität Göttingen,  
Büsgenweg 2,  
37077 Göttingen

<sup>9</sup> A. Hüttermann, J. O. Metzger, *Nachr. Chem.* **2004**, 52, 1133-1138

<sup>10</sup> van Bergen: KWK, die Zukunft der wichtigsten Säule im Klimaschutz.in: Bundesverband Kraft-Wärmekopplung e.V. (Hrsg.): KWK-Symposium vom 3. 4. 2001 in Duisburg.

<sup>11</sup> EAM:<http://www.eam.de/inhalt/01privatkunden/photovoltaikanlagen/technik.html>

<sup>12</sup> E. Henrich, E. Dinjus, in Biomasse-Vergasung – Der Königsweg für eine effiziente Strom- und Kraftstoffbereitstellung? (Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.), Landwirtschaftsverlag, Münster, 2004.