



Der Wasserstoff-Boom



Wunsch und Wirklichkeit beim Wettlauf um den Klimaschutz. Von Joseph J. Romm. Wiley-VCH, Weinheim 2006. 205 S., Broschur, 24,90 €.—ISBN 3-527-31570-5

Pessimistische Zeitgenossen mit einem Hang zur Perversion haben in diesen Tagen gut lachen: Die Weltbevölkerung steigt immer noch um 70 Millionen Menschen pro Jahr, die Atmosphäre der Erde enthält heute mehr des Treibhausgases CO₂ als zu irgendeiner Zeit innerhalb der letzten 420 000 Jahre und die Weltreserven an Öl und Gas steigen nicht mehr. Und ein Teil der Weltbevölkerung verschwendet noch immer Energie in Kenntnis dieser Tatsachen, der Überwärmung der Erde und dem Ende der fossilen Energievorräte!

J. J. Romm, ein sachkundiger Energie- und Klimaexperte und unter anderem früherer Berater der US-Regierung, publiziert mit dem vorliegenden Buch einen Bericht über den Stand der Technik der Energiegenerierung (speziell für Transportzwecke) und benennt die zukünftigen Optionen und Möglichkeiten mit dem besonderen Fokus der Wasserstoffwirtschaft. In einer Reihe von Kapiteln beschreibt er die Techniken der Wasserstoffgewinnung und -versorgung, den Stand der Brennstoffzellen und die vielfältigen wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Zwänge bei der Realisierung eines Transportsystems auf Wasserstoffbasis – alles diskutiert unter dem

Druck einer galoppierenden Überwärmung der Erde.

Das Dilemma liegt darin, dass der zukünftige Idealzustand zwar leicht formuliert werden kann: ein in sich geschlossenes und schlüssiges System, das den Energieträger Wasserstoff aus Wasser mit solchen Energien herzustellen gestattet, die *nicht* an den Ausstoß von CO₂ gekoppelt sind (also beispielsweise durch Kern- oder Fusionsenergie). Wasserstoff wiederum wird dann mit Sauerstoff rückstandsfrei und umweltneutral unter Energiegewinnung verbrannt – ob in Dampfkesseln, Brennstoffzellen oder Ottomotoren ist eine Frage der Zweckmäßigkeit, des (aufwändigen) Transportes von Wasserstoff und des Wirkungsgrades. Die Realitäten von heute stehen dem allerdings in vielfältiger Weise entgegen – von den existierenden (zentralen und dezentralen) Versorgungssystemen, den noch ungenügenden Wirkungsgraden, den verschiedenen Zeithorizonten, dem trotz großsprecherischer Verlautbarungen (beispielsweise der Automobilindustrie) unbefriedigenden technischen Stand der Brennstoffzellen oder Fragen der Steuergesetzgebung bis hin zu *der entscheidenden Feststellung*: Alle bisher in größerem Umfang bewährten Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff kranken daran, dass ein Teil der jeweiligen Energieträger (Methan, Öl, Kohle und selbst Biomasse) zum umweltschädlichen CO₂ umgesetzt wird, dass also der Weg zur Wasserstoffwirtschaft mit weiterer Überwärmung der Erde erkauft wird. In Kenntnis und nach Diskussion bestehender Limitationen schlägt Romm vor, auf dem Weg zum idealen Endzustand – der Wasserstoffwirtschaft – auf E-Hybridfahrzeuge mit geringerem spezifischem Kraftstoffverbrauch und höheren Wirkungsgraden zu setzen, d.h. auf Fahrzeuge, die mit emissionsarmen Flüssigtreibstoffen (aus Biomasse) und mit emissionsarmem Strom (zum Teil durch regeneratives Bremsen gewonnen) aus effektiveren Akkumulatoren betrieben werden. Auf jeden Fall warnt er vor den vorschnellen Versprechungen einer geneigten Lobby, was beispielsweise den kurzfristigen Einsatz der Wasserstoff-Brennstoffzelle angeht, eine Option, die für ihn – etwas überraschend – diejenige mit den größten technischen und infrastrukturellen

Problemen und der geringsten Effizienz ist. Interessanterweise empfehlen Olah et al. in ihrem Buch *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*^[1] – von gleichen Prämissen ausgehend – einen „Methanol-Boom“ statt des von Romm bevorzugten Weges mit E-Hybridnen.

Romm's Bilanz eines Zeitraumes bis zum Jahr 2050 ist niederschmetternd, sie ist auch deswegen derart hoffnungslos, weil der Autor einen künstlich verengten Fokus anlegt. Zum einen ist der Bericht verzerrt US-zentrisch; er negiert andere Märkte weitgehend und die Entwicklungen anderer Firmen und Länder fast ganz, so nennt er als mögliche „Partnerschaften und Pilotprojekte“ etwa nur Island (!) und Kalifornien. Romm diskutiert zwar den Zusammenhang zwischen Energieerzeugung und den Gefahren des daraus resultierenden CO₂-Ausstoßes, aber er kommentiert das Kyoto-Protokoll, typisch US-amerikanisch, mit der Frage „Wie teuer wird es, die Treibhausemissionen der USA zu reduzieren“ (S. 109) und nicht etwa mit der Erkenntnis, dass es sinnvoll sein könnte, wenn der größte Markt der Erde wie andere Länder auch frühzeitig, aktiv und gezielt die Treibgasemissionen reduzieren würde.

Das Modell Romms und die Diskussion seiner Auswirkungen basiert in wichtigen Teilen auf ökonomischen Kenndaten und den wirtschaftlichen Abhängigkeiten. Das ist natürlich richtig in einem geschlossenen System bekannter Variablen. Was Romm jedoch zwar ableitet, nicht aber ausspricht, ist die fürchterliche Folgerichtigkeit seiner Modelle: Die fossilen Energievorräte nehmen ab und führen gleichzeitig zu einem immer gravierenderen Ausstoß der Treibhausgase. Dies muss zu Konsequenzen führen, die über reine Wirtschaftlichkeitsrechnungen hinausführen und insofern das System der bekannten Variablen sprengen: Es wird der Punkt kommen, wo die Zukunft der Menschheit nicht von einer Wirtschaftlichkeit abhängt, sondern von ganz neuen und furchtbaren Zwängen und den darauf antwortenden Maßnahmen. Die Spontis der siebziger Jahre hatten schon ganz recht mit ihrer Behauptung, dass derjenige, der am Ende sei, wenigstens neu anfangen könne!

Ein weiterer Hinweis auf Romms verengten Fokus: Romm hält nichts von

der Kernenergie als einer CO₂-freien Energiequelle, die allerdings, wie er konzediert, die Basis für die Herstellung von Wasserstoff für die anzustrebende Wasserstoffwirtschaft sein wird. Er, der sonst so wortgewaltige, qualifiziert die Kernenergie mit der etwas zu simplen und matten Bemerkung ab: „Ich bin aber nicht davon überzeugt, dass die Kernenergie die Methode der Wahl ist ...“. Bei den offenkundigen Vorteilen der Kernenergie als CO₂-freier Basis für die Herstellung von Wasserstoff ist dies eine merkwürdige, wenn nicht voreingenommene Reaktion (und ein bemerkenswerter Unterschied zu Olah et al.^[1] denen folgend Kern- und Fusionsenergie „unseren Energiebedarf für Hunderte oder Tausende von Jahren decken könnten“). Es kommt hinzu, wie nicht Romm, wohl aber Olah et al. diskutieren, dass nur ein System mit einem Kohlenstoffträger neben Transport-Wasserstoff die Bedürfnisse der chemischen Industrie (neben denen des Transportes) berücksichtigen kann.

Ganz typisch ist Romms Haltung zu den gigantischen und zu erwartenden CO₂-Mengen. Wie das Sterben mit dem Leben, so ist auch die Nutzung fossiler Energie an die immanente Bildung von CO₂ gekoppelt. Wie wird Romm mit diesen Mengen fertig? Ähnlich den Betreibern von „modernen Kraftwerken“, die behaupten, dass ihre Anlagen kein CO₂ emittieren und ihre Kraftwerke Strom „CO₂-neutral“ erzeugen, setzt Romm auf die „Sequestrierung“ des Kohlendioxids, d.h. die dauerhafteendlagerung des CO₂ entweder in Form von Biomasse (was mengenmäßig limitiert ist), einer Lagerung in den Ozeanen oder als geologische Sequestrierung in riesigen, abgedichteten unterirdischen Hohlräumen. Diese Aufgabe soll ein „Geo-Engineering“ genanntes Fachgebiet^[2] lösen, dessen wahnwitziges Wirken bereits Spuren bis in das Feuilleton der FAZ hinterlässt.^[3] Romm zitiert Studien, die von Größenordnungen von Milliarden Tonnen CO₂ pro Jahr ausgehen. Er stellt zwar die Angreifbarkeit kerntechnischer Anlagen durch Terroristen heraus, verliert aber über die Gefährlichkeit großer CO₂-Mengen kein Sterbenswörtchen, obwohl die Gefahren größerer Mengen freigesetzten Kohlendioxids seit den Ereignissen am Lake Nyos in Kamerun (1986 Ent-

wicklung von „nur“ etwa einem Kubikkilometer gasförmigen, vulkanischen Kohlendioxids, das in Seewasser gelöst war und spontan freigesetzt wurde, 1700 Tote)^[4] sehr gut untersucht und dokumentiert sind. Bei der Sequestrierung wird dann so getan, als wenn die Energie aus fossilen Quellen emissionslos gewonnen werden kann – ich muss dabei immer an P. Flemings Bemerkung denken: „Es ist nur noch wenig Ehrfurcht in der Welt übrig, und wenig von diesem Wenigen wird gut angewendet.“^[5]

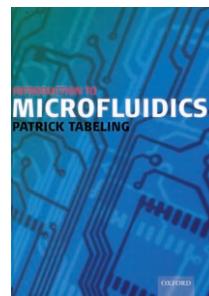
Das Buch von Romm ist für mich deshalb eine nützliche Momentaufnahme des Wissens von heute, aber keine vorurteilsfreie und über alle Zweifel erhabene Deutung dieses Wissens, geschweige denn eine Anleitung zum Handeln, seien es Großinvestitionen oder politische Entscheidungen!

Boyd Cornils
Hofheim/Ts.

DOI: [10.1002/ange.200685452](https://doi.org/10.1002/ange.200685452)

- [1] G. A. Olah, A. Goepert, G. K. S. Prakash, *Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006; Besprechung in *Angew. Chem.* **2006**, *118*, 5167.
- [2] Zum Beispiel: B. Conway, *The Chemtrail Smoking Gun*, Lightwatcher; *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2004**, *101*, 15827.
- [3] S. 31 der Ausgabe vom 9.8.2006.
- [4] *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **1989**, *39*, 109.
- [5] P. Fleming, *Brasilianisches Abenteuer, Wegweiser*, Berlin, 1950.

Introduction to Microfluidics



Von Patrick Tabeling. Oxford University Press, Oxford 2005. 288 S., geb., 92.90 €.—ISBN 0-19-85684-9

Die Vision, eine ganze Chemiefabrik oder ein Analyselabor auf einen einzigen Chip zu bauen, begeistert seit

Jahrzehnten Wissenschaft und Industrie. Der stürmische Fortschritt in Design und Funktion mikroelektromechanischer Bauteile (MEMS) seit den 80er Jahren hat dazu geführt, dass die mikrofluidische Vision nun greifbar geworden ist. Patrick Tabeling beschreibt in seinem Buch *Introduction to Microfluidics* die Entwicklung und die Perspektiven dieses noch sehr jungen Gebiets, dessen physikalisch-chemische Grundlagen und das Know-how der Fabrikation mikrofluidischer Systeme.

Was unterscheidet die Mikrofluidik von der Fluidik, die seit Jahrhunderten schon beschrieben ist? Tabeling gibt in fünf großen Kapiteln die Antwort: Erstens werden Kräfte relevant, die im Makroskopischen vernachlässigbar sind, z.B. Van-der-Waals-Kräfte. Zweitens gibt es eine spezielle Mikrohydrodynamik, weil die Reynolds-Zahlen klein sind und weil eine Flüssigkeit z.B. auch über eine feste Oberfläche „rutschen“ kann (also an der Grenzfläche nicht unbedingt die Geschwindigkeit null haben muss). Drittens ist das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen in mikrofluidischen Systemen so groß, dass Einflüsse der Kanalwände eine Rolle spielen. So kann beispielsweise eine Molekülsorte an der Wand adsorbiert und somit von anderen Molekülen im mikrofluidischen Strom separiert werden. In diesem dritten Kapitel werden die Diffusion und vor allem das Mischen in Mikrosystemen beschrieben. Gerade Letzteres bildet die Grundlage der schnellen Reaktionskinetik in einem mikrofluidischen Chip. Viertens können elektrische Felder geladene Teilchen beeinflussen, die sich im mikrofluidischen System befinden, kurz im Stichwort „Elektrohydrodynamik“ zusammengefasst. In diesem Kapitel beschreibt Tabeling die technologisch wichtigen Phänomene der Elektroosmose und Elektrophorese, die die Grundlage der mittlerweile kommerziell erhältlichen Chips zur Separation von DNA oder Proteinen bilden. Das fünfte Grundlagenkapitel ist der Wärmeübertragung gewidmet, sei es beim Heizen oder Kühlen mikrofluidischer Bauteile. Zwei weitere Kapitel behandeln Herstellung und Anwendung von Mikrofluid-Chips.

Patrick Tabeling ist Professor an der Ecole Supérieure für industrielle Physik