

Von: Bernd Ahlers
Datum: 13.06.20 12:12 (GMT+01:00)
Betreff: Energiewende:

Das Wasserstoff-Zeitalter begann in Deutschland schon am 5. Mai 1999 um 12 Uhr

Wasserstoff als „Energieträger“? Jetzt müssen wir Steuerzahler zum wiederholten Mal an Forschungs-Einrichtungen und Industrie Milliarden zahlen, nur um schon wieder prüfen zu lassen, wie sich Wasserstoff als „Energie“ nutzen lässt.

Dabei hat Deutschland doch schon am 5. Mai 1999 um 12 Uhr das Wasserstoff-Zeitalter eingeläutet. Damals ging auf dem Münchner Flughafen die „weltweit erste öffentliche“ Wasserstofftankstelle in Betrieb. Mit ihr war der erste Schritt in die viel beschworene Wasserstoffwirtschaft gemacht worden. 2006 entstand dann die nächste deutsche Superlativ in Sachen Wasserstoff. Mitten in Berlin eröffnete die „weltweit größte“ Wasserstofftankstelle.

Auch in Hamburg und Stuttgart hatte die Zukunft begonnen. Beide Städte betrieben bis Ende 2006 je drei Brennstoffzellen-Busse im Rahmen des europäischen CUTE-Projekts (Clean Urban Transport for Europe); Anfang 2007 lief das Anschlussprojekt HyFLEET:CUTE an. Hamburg hatte seine Flotte von 3 Brennstoffzellen-Busse auf insgesamt 9 aufgestockt. Berlin hatte 14 Linienbusse mit Wasserstoff-Verbrennungsmotor angeschafft. Anfang 2007 ist ein weiteres europäisches Projekt an den Start gegangen: Im Rahmen von „HyChain Minitrans“ sollten bis 2010 mehr als 150 Kleinfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb auf die Straßen kommen.

Bei solchen Nachrichten könnte man meinen, das Zeitalter der sauberen Fortbewegung mittels schadstofffreiem Wasserstoff sei nun endlich greifbar nahe. Doch der Eindruck könnte falscher nicht sein: Während allerorten öffentlich geförderte Projekte ihren gefeierten Fortgang nehmen, kommen einige Experten nach einer Kalkulation zunehmend zu dem Schluss, dass die Reise in die Wasserstoffwirtschaft in Wirklichkeit ein Holzweg ist.

Als BMW 2006 seinen Hydrogen 7, einen wasserstoffbetrieben 7er, mit dem definierten Ziel vorstellte, dass Prominente aus Politik und Wirtschaft das Modell fahren sollten, lehnte die damalige Bundestagsvizepräsidentin Katrin Göring-Eckhardt (Grüne) den 7er-BMW wegen seiner schlechte Energie-Bilanz ab. Fraktionskollege Toni Hofreiter schlug eine Präsentations-Einladung mit der Begründung aus: „Ein PKW, der zu Beginn des dritten Jahrtausend im Wasserstoffmodus auf 100 km 50 Liter schluckt, kann nicht den Anspruch auf Nachhaltigkeit erheben.“

Es macht den Anschein, dass unsere Politiker davon ausgehen, dass Wasserstoff eine nahezu unerschöpfliche Energiequelle und damit eine verlockende Alternative der Energieversorgung ist. Sie lassen sich damit überreden, dass mit einem Schlag alle Klimaprobleme gelöst sind. Die Energieversorgung mit Wasserstoff und Brennstoffzelle ist faszinierend sauber, weil sich Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Luft verbindet, und nur noch etwas Strom und Wasser benötigt wird.

Alles richtig, und angesichts solch einleuchtender Fakten ist es kein Wunder, dass die Wasserstoffidee Öffentlichkeit, Wirtschaft und Politik gleichermaßen fasziniert. Noch werden die Stimmen der Kritiker unterdrückt, zumal Enthusiasten ihren Posaumentönen eine weltbefreiende Note aufdrücken.

Der ehemalige Präsident der Europäischen Kommission rief Anfang 2004 die „Europäische Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Technologie-Partnerschaft“ aus. Bis zum Jahr 2030 soll demnach die Transformation unserer auf fossilen Energien basierenden Wirtschaft in eine „wasserstofforientierte Wirtschaft“ abgeschlossen sein. Mit weit verbreiteten Wasserstoffpipelines, die ausschließlich regenerativ erzeugten Wasserstoff transportieren, mit allgegenwärtigen Brennstoffzellen im Verkehr, in der dezentralen Stromerzeugung bei jedermann zu Hause und in abertausenden von Kleingeräten.

Zur Verwirklichung dieser Vision wurden im 6. Forschungsrahmenprogramm der EU rund 300 Millionen Euro ausgegeben. Allein in Deutschland flossen 2004 rund 85 Millionen Euro von Bund, Ländern und der EU in die Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung, und auch die Merkel-Regierung hat 2005 ein „nationales Innovationsprogramm zu Wasserstofftechnologien“ auf die Fahnen und in den Koalitionsvertrag geschrieben. Der damalige Bundesverkehrsminister Wolfgang Tiefensee stellte zusätzliche 500 Millionen Euro Fördermittel für die Entwicklung von Wasserstoffautos bereit. BMW, Mercedes nahmen dankbar das Geschenk an.

Doch was beim Propagieren einer Wasserstoff-Revolution nicht beantwortet wird, ist, wo die Unmengen an Wasserstoff für dieses Paradies auf Erden eigentlich herkommen sollen: Wasserstoff ist keine Energieträger wie Erdöl oder Erdgas.

Wasserstoff kommt in der Natur in freier Form so gut wie gar nicht vor. Stattdessen ist er in Wasser, Biomasse oder fossilen Kohlenwasserstoffen wie Kohle und Erdgas gebunden. Bevor sich das Gas als Energielieferant einsetzen lässt, muss es aus seinen bestehenden Verbindungen gelöst werden. Das kostet jede Menge Energie - von der im frei werdenden Wasserstoff anschließend nur ein kleiner Teil gespeichert werden kann.

Wer einmal das Ganze von vorn bis hinten durchgerechnet, wird zu dem Ergebnis kommen: Die Wasserstoffwirtschaft kann gar nicht kommen. Als künstlicher Energieträger, der erst verlustträchtig unter Einsatz anderer Energien hergestellt werden muss, könne Wasserstoff niemals konkurrenzfähig werden.

Der gesamte Energieverbrauch von Diesel und Benzin im Verkehrsbereich (710 TWh) entspricht etwa der Energie des gesamten Stromverbrauchs Deutschlands (650 TWh). Mit Umwandlungsverlusten bräuchte man die dreifache Kapazität der heutigen Stromerzeugung, um max. 50 Prozent des Verkehrsbedarfs mit Wasserstoff abzudecken.

Ein weiteres Problem ist die Speicherung. Denn das Wasserstoffatom ist das kleinste aller Atome. „Wasserstoff enthält, bezogen auf sein Gewicht, zwar dreimal mehr Energie als Benzin, aber viel entscheidender ist die Energiedichte pro Volumen. Und da schneidet Wasserstoff sehr, sehr schlecht ab.“ sagte Martin Wietschel vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe.

Tiefgekühlt oder unter Druck

Um Wasserstoff als Antriebsenergie im Autos mit akzeptable Reichweiten zu nutzen, muss das Gas an Bord entweder bei sehr hohen Drücken von bis zu 700 bar oder flüssig bei minus 253 Grad gespeichert werden

Ein weiterer Nachteil ist, dass sich der Tankinhalt eines Wasserstoffautos schon nach kurzer Zeit in Luft auflöst. Denn das Wasserstoffatom ist so klein, dass es kaum gelingt, alle Bauteile gegen ein Austreten in Dampfform abzudichten. Flüssiger Wasserstoff erwärmt sich mit der Zeit und verdampft dann einfach. Eine Zeit lang ruhte die Hoffnung für bessere Tanks auch auf Metallhydridspeichern, die gasförmigen Wasserstoff absorbieren und bei Erwärmung wieder abgeben. Sie erwiesen sich aber als zu teuer und schwer, dass sie nur in U-Booten, und Schiffen verwendet werden, wo beide Faktoren kaum eine Rolle spielen.

Bleibt einstweilen nur die Speicherung unter hohem Druck oder bei tiefen Temperaturen. Doch beide Verfahren tragen weiter zur schlechten Energiebilanz von Wasserstoff bei. Schon die Komprimierung von gasförmigem Wasserstoff auf 700 bar verschlingt nach Berechnungen 13 Prozent der in ihm enthaltenen Energie- und selbst unter diesem hohen Druck hat er nur etwa ein Drittel der Energiedichte von Benzin. Alles in allem landet im Drucktank nur nicht einmal die Hälfte der hochsubventionierten elektrischen Wind- Photovoltaik Energie, die zur Erzeugung des Wasserstoffs eingesetzt wurde. Noch schlimmer sieht es bei der Verflüssigung aus. Die frisst zwischen 30 und 50 Prozent der Energie im Wasserstoff. Der Transport ist bei diesen Zahlen noch gar nicht mitgerechnet.

Anbei sind Datentabellen unten beigefügt.

Insgesamt kommen bei einem mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellen-Auto an den Rädern nicht mehr als 20 bis 25 Prozent der ursprünglich „Primär-Energie“ an. Beim Wasserstoffverbrennungsmotor ist es wegen seines schlechteren Wirkungsgrades noch wesentlich weniger.

All das haben Wissenschaftler und Ingenieure in „The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?“ schon Anfang des Jahres 2003 detailliert vorgerechnet. Wasserstoffwirtschaft ist nichts anderes als eine Energie Verschwendung. Das sind doch ganz einfache Ingenieurrechnungen! Ich werfe den Wasserstoffpropheten vor, dass sie diese Rechnungen nicht mal nachvollziehen. Dass die Berechnungen stimmen, bestreitet man bei der Linde AG nicht, einem der größten Wasserstoffhersteller der Welt

Zweifelsfrei ist, dass Deutschland zu 98 Prozent vom Öl abhängig sind, die Wirtschaft muss strategisch denken und handeln, dann muss man sich Gedanken machen, was man tun kann, denn wir haben ein Energie- und ein CO₂-Problem.

Daran besteht kein Zweifel - aber warum sich die deutsche Wirtschaft ausgerechnet auf Wasserstoff als Gegenmittel gestürzt hat, will mir nicht einleuchten. Auch 2020, 20 Jahre nach dem Beginn des Wasserstoffzeitalters in Deutschland, wird es in absehbarer Zeit weder Brennstoffzellen Autos zu wettbewerbsfähigen Preisen geben, noch bezahlbaren Wasserstoff dafür.

Die Wind- und Photovoltaik- Lobby machen heute aber eine andere Rechnung auf. Der Ausbau ist ins Stocken geraten, weil bei Starkwind und hoher Sonneneinstrahlung die Strom-Netze beim weiteren Ausbau der Windparks kollabieren. Die Unternehmen der Windparkindustrie wollen aber auf die ständig sprudelnden Milliarden vom Steuerzahler nicht verzichten. Daher schlagen sie vor, den Ausbau von Windanlagen auch gegen Bürgerproteste voranzutreiben. Die „Überproduktionen“ kann dann in Wasserstoff umgewandelt und gespeichert werden, die dann bei Wind-Flaute und nachts wieder in Strom umgewandelt wird. Eines ist jetzt schon ohne Rechenkünste ersichtlich; das wird ganz schön teurer Strom!

Dass bei jeder Umwandlung von einer Energiequelle in eine andere Verluste entstehen, wird gerne von den Wasserstoffpropheten verschwiegen. Schon heute zahlt der deutsche Privat-Verbraucher den höchsten Strompreis in Europa. Tendenz steigend!

Lassen Sie mich mit den Worten eines großen deutschen Physikers abschließen.

Albert Einstein hat einmal auf die Frage, welches das häufigsten Element im Universum sei, geantwortet: „Wasserstoff und die Dummheit der Menschen. Nur beim Wasserstoff bin ich mir nicht ganz so sicher“.

Für einen sachlichen Diskurs stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung und verbleibe mit freundlichen Grüßen
Bernd Ahlers

Wasserstoff - Wirtschaft

Die Energievernichtungskaskade der Wasserstoffwirtschaft ¹

Verfahrensschritte	Technische Angaben	Energieverluste MJ/kg H ₂	Verluste (in % des Wasserstoff)
Elektrolyse	1,76 Volt bei 1 atm	61	43 %
Kompression	1 bar → 200 bar	10	7 %
Kompression	1 bar → 400 bar	13	9 %
Kompression	1 bar → 800 bar	17	12 %
Verflüssigung	100 kg / h	65	46 %
Verflüssigung	1000 kg / h	45	32 %
Verflüssigung	10.000 kg / h	35	28 %
Straßentransport	200 bar, 200 km	18	13 %
Straßentransport	200 bar, 400 km	36	25 %
Straßentransport	flüssig, 200 km	3	2 %
Pipeline	10 bar, 1000 km	12	8 %
H ₂ -Elektrolyse an Tankstelle	entspricht 60.000 Liter Benzin pro Tag	80 *	56 %
Betanken	100 bar auf 400 bar	5	4 %
Brennstoffzelle	Verstromung	142 (Oxidierung)	50 %

*einschl. Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw.

Gesamtkette Wasserstoff: Herstellung und Transport

Verfahrensschritt	Wirkungsgrad	Energieverlust in MJ	noch vorhandene Energie in MJ
Wechselstrom-ab Kraftwerk			100
Gleichrichter	95 %	5	95
Elektrolyse	75 %	23,8	71,2
Verdichtung auf 800 bar	88 %	8,5	62,7
Transport 400 km	75 %	15,7	47
Brennstoffzelle PAFC	38 %	29,1	17,9
Wechselrichter	95 %	0,9	17

Die Gleichrichtung entfällt, wenn der elektrische Strom von Photovoltaikzellen geliefert wird.
Zum Vergleich: Die direkte Übertragung der Wechselstromenergie über Hochspannungsleitungen bewirkt bei gleicher Entfernung von 400 km nur etwa 3 % Verluste, es kommen also noch **97 MJ** an.

Gesamtkette: Wasserstoffverflüssigung und -speicherung ohne Transport

Verfahrensschritt	Wirkungsgrad	Energieverlust MJ	noch vorhandene Energie MJ
Wechselstrom ab Kraftwerk			100
Gleichrichter	95 %	5	95
Elektrolyse	75 %	23,8	71,2
Verflüssigung 10000 kg/h	72 %	19,9	51,3
Tankverlust pro Tag	2 %	1	50,3
Brennstoffzelle PAFC	38 %	31,2	19,1
Wechselrichter	95 %	0,9	18,2

Quelle: European Fuel Forum, Wasserstoff löst keine Energieprobleme, Eigene Darstellung

Die Gleichrichtung entfällt, wenn der elektrische Strom von Photovoltaikzellen geliefert wird. Zum Vergleich: Ein Pumpspeicherkraftwerk hat etwa 80 % Wirkungsgrad und würde 80 MJ liefern.

Probleme

Der Wirkungsgrad der Elektrolyse ist mit 60 bis 80 % vergleichsweise zu gering.

- Die gespeicherte Energie kann mit Brennstoffzellen am effizientesten genutzt werden. Diese sind aber anfällig gegen feuchtes und kaltes Klima und derzeit (Mai 2010) liegt die Lebensdauer noch weit unterhalb üblicher Standzeiten konventioneller Technologien und arbeiten mit mäßigen Wirkungsgraden um 40 %.
- Die geringen Wirkungsgrade der notwendigen Umformungsschritte Elektrolyse und Brennstoffzelle begrenzen den Gesamtwirkungsgrad auf $0,7 \cdot 0,4 = 28 \%$.
- Lagerung und Transport sind energieaufwendig und teuer, Tanks sind schwer und/oder groß, Leckagen und Diffusion verursachen große Verluste, die den Gesamtwirkungsgrad weiter verringern.
- Die Verbrennung von Wasserstoff in Motoren und Triebwerken ist nur bei niedrigen Verbrennungstemperaturen schadstofffrei, andernfalls entstehen Stickoxide, die nur mittels nachgeordneter Katalysatoren beseitigt werden können. Zur Erzielung hoher Wirkungsgrade in Verbrennungskraftmaschinen (Gasturbinen, Ottomotoren, Raketenantriebe) sind jedoch hohe Verbrennungstemperaturen wünschenswert.
- Die Realisierung großer Wirkungsgrade von Verbrennungskraftmaschinen erfordert neue Werkstoffe, die den hohen Temperaturen und Verbrennungsgeschwindigkeiten widerstehen können.

Quellen

1 European Fuel Forum, www.efcf.com "Wasserstoff löst keine Energieprobleme", Seite 30

Vergleich von Wasserstoff, Benzin, Diesel

Heizwert - Wasserstoff:	kJ/l	MJ/kg	kWh/m ³	kWh/kg
Gasförmig T=300 K, 26 C° p = 0,1 bar	10,8	120	3,0	33,3
Gasförmig T=300 K, 26 C° p = 200 bar	2.200	120	612	33,3
Flüssig T=20 K, -253,15 C° p = 1 bar	8.500	120	2.360	33,3
Zum Vergleich: Benzin	33.000	45	9.200	13
Zum Vergleich: Diesel	35.000	42	9.700	12

Benzin: 1 Liter enthält die Energie von ca. 9,2 kWh

Diesel: 1 Liter enthält die Energie von ca. 9,7 kWh

Produktionskosten pro kWh *

von der Gewinnung der Energieträger (Öl, Erdgas) bis zum Rad „Well to Wheel“

- Wasserstoff *¹ ca. 0,34 €
- Benzin ca. 0,11 €
- Diesel ca. 0,12 €

Energiebedarf für eine Fahrstrecke von 100 km

- Benzin Mittelklassen-PKW ca. 7 Liter, bzw. 64,4 kWh
- Gasförmigen Wasserstoff (1 bar) ca. 17.400 Liter, bzw. 64,4 kWh
- Verflüssigten flüssigen Wasserstoff *² (700 bar) ca. 27 Liter bzw. 64,4 kWh

Reichweite mit 10 Liter

- Benzin = 143 km
- Gasförmigen Wasserstoff (1 bar) = 0,06 km
- Verflüssigten Wasserstoff (700 bar) = 32 km

Treibstoffkosten ohne Steuersätze für 100 km

- Benzin 7,08 €
- Verflüssigten Wasserstoff *¹ 22,13 €

Quellen:

* Berechnung auf Grundlage der kostengünstigsten Energieträger (Öl, Erdgas)

*¹ <http://www.energy20.net/pi/index.php?StoryID=317&articleID=213450>.

*² <http://www.hho-generator.de/vergleich-wasserstoff/wasserstoff-heizwert-vergleich.htm>

Nutzungsrechte & Kontakt

Die Rechte an den aufgeführten Daten, Fotos und Grafiken liegen beim Absender. Sie dürfen für journalistische Zwecke unentgeltlich eingesetzt werden. Der Verkauf und die Weitergabe an Dritte sind nicht erlaubt. Eine darüber hinaus gehende kommerzielle oder werbliche Nutzung - insbesondere in Unternehmens- und Produktionsbroschüren bedarf der Genehmigung.
Kontakt: b.r.ahlers@t-online.de