

Wie sind die Aussichten einer solaren Wasserstoffwirtschaft?

von Ludwig Lindner

e-mail Ludwig.Lindner@energie-fakten.de

Hier die Fakten - vereinfachte Kurzfassung

Wasserstoff bietet interessante Anwendungsvorteile gegenüber Erdgas und Mineralölprodukten. Er kommt jedoch in der Natur nicht rein vor. Vielmehr muss er erst in aufwendigen Verfahren aus fossilen Energieträgern oder mit Hilfe von Elektrolyse aus Wasser gewonnen werden. Die Elektrolyse erfordert Strom. Dieser könnte aus regenerativen Energien erzeugt werden, aber auch aus Kernenergie. Seine Produktion aus fossilen Brennstoffen widerspricht in steigendem Maße dem Klimaschutz und damit der „Nachhaltigkeit“ (siehe Nachhaltigkeit). Immer wieder wird auch an Strom aus Solarstrahlung in Nordafrika, etwa in der Sahara, gedacht. Der Wasserstoff würde dann nach Europa transportiert und hier zur Wärmeversorgung, zur Stromerzeugung und zum Antrieb von Fahrzeugen eingesetzt werden („solare Wasserstoffwirtschaft“).

Die Aussichten einer solchen solaren Wasserstoffwirtschaft sind jedoch als gering anzusehen. Letztlich macht es

insbesondere wenig Sinn, Strom als die Energieform mit der höchsten Veredelungsstufe in Wasserstoff umzuwandeln, der dann wieder in Strom/Wärme umgewandelt wird. Damit würde ein weiteres Glied an die Kette der Umwandlungsprozesse angehängt mit der Folge zusätzlicher Kosten und vor allem auch zusätzlicher Energieverluste.

Projekte, Solarstrom in der Wüste zu erzeugen und diesen Strom für die Herstellung von Wasserstoff für Europa einzusetzen, wurden wiederholt vorgestellt. Sie scheitern einmal an den extrem hohen Kosten und zum anderen an schwer löslichen technischen Problemen, z.B. hinsichtlich der Beschaffung des für die Elektrolyse benötigten Reinstwassers in der Wüste und hinsichtlich des Transportes des Wasserstoffes nach Europa mit nicht zu hohen Verlusten. Wenn man schon (zu hohen Kosten!) Strom aus Sonnenenergie in der Sahara erzeugen will, wäre eine verlustarme Stromübertragung mittels HGÜ (Hochspan-

nungs-Gleichstrom-Übertragung) der bessere Weg. Dieser Strom würde dann jedoch weitgehend direkt und nicht über den Umweg über Wasserstoff genutzt werden.

Höchstens für bewegliche Anlagen, z.B. Motoren oder Brennstoffzellen in PKW, könnte der Einsatz von Wasserstoff als Energieträger eine sinnvolle Alternative sein, billige Herstellung und Speicherung vorausgesetzt.

Vorübergehend wäre die Herstellung aus Erdgas vertretbar, infolge der fehlenden Nachhaltigkeit aber keine Dauerlösung. Die Erzeugung mittels Solarzellen über Elektrolyse ist zwar theoretisch denkbar, dürfte jedoch aus Kostengründen auf Sonderfälle beschränkt bleiben (der Solarstrom ist auf lange Zeit viel zu teuer). Langfristig die besten Aussichten für die Erzeugung des für die Elektrolyse benötigten Stroms haben die Energieträger Kernenergie und (außerhalb Europas) Wasserkraft. ■

Wie sind die Aussichten einer solaren Wasserstoffwirtschaft?

von Ludwig Lindner

e-mail Ludwig.Lindner@energie-fakten.de

1. Gewinnung von Wasserstoff

1.1 Wasserstoffproduktion

Wasserstoff kommt in der Natur nur in gebundener Form vor. Er ist also kein Primärenergieträger. Vielmehr muss er erst in aufwendigen Verfahren gewonnen werden, entweder durch „Abspaltung“ aus Kohlenwasserstoffen wie Erdöl und Erdgas oder durch die Elektrolyse („Spaltung“) von Wasser. Die entscheidende Frage jeder „Wasserstoffwirtschaft“ lautet daher: *Woher soll der Wasserstoff kommen?*

Langfristig macht die Gewinnung von Wasserstoff aus fossilen Rohstoffen (Erdöl, Erdgas) keinen Sinn. Das gilt sowohl für die partielle Oxidation und das Steamreforming (siehe Ziff. 1.2.) wie auch für die Elektrolyse mit Hilfe von Strom aus Kohle, Öl oder Gas. Somit bleibt nur die Wasserelektrolyse mit Strom aus CO₂-freien Energiequellen wie Wasserkraft, Kernenergie, Wind oder Solarstrahlung.

Strom aus Solarzellen scheidet wegen der Kosten auf absehbare Zeit aus.

Die Leser der VDI-Nach-

richten haben sich im September 2000 in einer Umfrage mit großer Mehrheit für Wasserstoff durch Wasserelektrolyse mit Hilfe von Kernenergie für den Antrieb von Fahrzeugen ausgesprochen. Für stationäre Anlagen ist ihrer Ansicht nach der Einsatz von Wasserstoff der falsche Weg.

1.2 Technischer Wasserstoff heute

Wasserstoff wird heute für eine Vielzahl von chemischen Produkten benötigt (also stofflich und nicht energetisch genutzt). Seine Herstellung (weltweit jährlich mehr als 400 Mrd. m³) erfolgt durch:

- sog. partielle Oxydation von schweren Kohlenwasserstoffen (z.B. aus schwerem Heizöl, mit Sauerstoff und Dampf als Moderator) oder

- Steamreforming von Erdgas (katalytische Umsetzung von Erdgas mit Wasserdampf).

In beiden Fällen entsteht ein Gasgemisch aus u.a. Wasserstoff (H₂), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄), das aufwendig nachbereitet werden muss und schließlich müssen die

Nebenprodukte vom Wasserstoff abgetrennt werden. Die Reinheit des Wasserstoffs liegt letztlich bei > 99,95 %.

- Des weiteren fällt Wasserstoff bei der sog. Chlorelektrolyse an. Dabei wird eine wässrige Lösung von NaCl (Kochsalz) einer Elektrolyse bei Einsatz von elektrischem Strom unterworfen. Es entstehen das Wunschprodukt Chlor (ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie), Natronlauge und als Nebenprodukt Wasserstoff.

- Die Elektrolyse von Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff spielt derzeit technisch keine Rolle, weil die anderen Verfahren deutlich billiger sind.

Die Hüls AG in Marl, jetzt Degussa AG, betreibt ein Wasserstoff-Fernleitungsnetz mit über 200 km Länge, über das bis zu 30.000 m³/Stunde transportiert werden können. Das Netz reicht mit unterschiedlichen Durchmessern von Marl (Kreis Recklinghausen) bis nach Köln. Der Einspeisedruck liegt bei ca. 20 bar.

LANGFASSUNG

Technischer Wasserstoff wird heute in allen Raffinerien und petrochemischen Betrieben benötigt. Die Erzeugungskapazitäten liegen im Bereich von ca. 50.000 m³/Stunde. Fernleitungsnetze existieren auch anderswo in Europa.

1.3 Solarer Wasserstoff

Bei der Herstellung von Wasserstoff mit Solarstrom wird an die Elektrolyse von Wasser gedacht. Hierzu ist reines Wasser erforderlich mit Zusätzen zur Erhöhung der Leitfähigkeit, z.B. Kaliumhydroxid (KOH). Für die Erzeugung von 1 m³ (0 Grad, 1 bar) werden in technischen Anlagen 4-5 kWh/m³ benötigt. Bei der Verbrennung des Wasserstoffs bzw. seiner Umsetzung mit Sauerstoff wird jedoch nur die thermische Energie wieder frei in Höhe von 3,6 kWh/m³. Dies gilt jedoch nur solange das gebildete Wasser flüssig anfällt. Wird das Wasser infolge hoher Temperatur gasförmig abgegeben, sind nur 3 kWh/m³ nutzbar. Hinzu kommen anlagenabhängige Verluste.

1.4 Wirtschaftliche Betrachtung

Solarstrom kann in Deutschland heute bei optimistischer Rechnung zu 0,80 EUR/kWh erzeugt werden. Durch Elektrolyse von Wasser mit Solarstrom gewonnener Wasserstoff kostet somit deutlich über 3 EUR/m³. Großtechnisch erzeugter petrochemischer Wasserstoff (siehe Ziff. 1.2.) hat demgegenüber Kosten von weniger als 0,05 EUR/m³. Solar-

strom müsste nach heutiger Situation zu weniger als 1,3 cts/kWh erzeugt werden können, wenn solarer Wasserstoff wettbewerbsfähig sein soll.

Prof. Vahrenholt, früher im Vorstand der Deutschen Shell AG, und führende Solarforscher erwarten, dass die Kosten für Solarstrom bis 2010 halbiert, also auf ca. 0,40 EUR/kWh gesenkt werden können. Selbst wenn sich das realisieren lässt, bleibt die Erzeugung von Wasserstoff mittels Solarstrom in Deutschland auf absehbare Zeit unrealistisch. Die weltweit einzige Anlage zur Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe der Sonnenenergie (Fotovoltaik) im bayerischen Neuburg vorm Wald wurde 1999 wegen Aussichtslosigkeit stillgelegt.

In sonnenreicheren Ländern liegen die Erzeugungskosten von Solarstrom etwa um den Faktor 2 niedriger.

1.5 Wasserstoff aus Solarzellen in der Wüste

Projekte zur Gewinnung von Wasserstoff über Solarstrom in der nordafrikanischen Wüste (Sahara) sind schon seit 20 Jahren in der Diskussion. Dabei wird gedacht an

- Stromerzeugung mittels solarthermischer Kraftwerke (Dampferzeugung und Wärmekraftwerk) oder Solarzellen-Generatoren (Fotovoltaik)
- Wasserelektrolyse
- Transport des Wasserstoffes per Rohrleitung durch das Mittelmeer oder Verflüssigung des Wasserstoffs und Transport

mit Schiffen nach Europa.

Konkrete Realisierungspläne liegen bisher nicht vor. Neben dem grundsätzlichen Kostenproblem und dem politischen Problem der Lieferzuverlässigkeit sind dabei noch wesentliche Problempunkte:

- die Beschaffung des Meerwassers aus dem Mittelmeer und seine Aufbereitung zu Reinstwasser,
- bei gasförmigem Transport per Rohrleitung die aufwendige Zwischenverdichtung,
- bei einer Verflüssigung und späteren Rückvergasung im Empfängerland zusätzliche Energieverbräuche und auch Verluste.

Falls überhaupt jemals Solarstrom in der Wüste erzeugt werden sollte, wird eher das System HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) das Rennen machen. Diese Art der Stromübertragung ist schon an einigen Stellen der Welt erfolgreich in Betrieb, z.B. in einer 1800 km langen Leitung in Südafrika. Die Leitungsverluste sind bei diesem System sehr gering.

LANGFASSUNG

2. Anwendung von Wasserstoff

Die Anwendung von Wasserstoff an Stelle von Mineralölprodukten und Erdgas bietet den Vorteil, dass bei seiner Verbrennung nicht das klimaschädliche Kohlendioxid entsteht.

2.1 Stationäre Anlagen in Haushalt und Kommunen

Wasserstoff könnte zum Heizen oder als Brennstoff für Brennstoffzellen oder Blockheizkraftwerke dienen, die gleichzeitig Strom und Wärme liefern. Solange der Wasserstoff aber vorher mittels Strom erzeugt wurde, macht dies keinen Sinn. Strom ist die höchst veredelte Energieform. Sie unter Energieverlusten in chemische Energie (Wasserstoff) und dann unter weiteren Energieverlusten in Wärme oder wieder zurück in Strom umzuwandeln, ist höchstens in Ausnahmefällen gerechtfertigt. Die Energieverluste wären bei weitem zu hoch. Generell würde man den Strom besser direkt verwenden, an Stelle des Umweges über Wasserstoff.

Der Einsatz von Wasserstoff aus Erdgas (siehe Ziff. 1.2.) in einer Brennstoffzelle (siehe Brennstoffzelle) kann jedoch für die nächste Zeit ein sinnvoller Weg sein, allerdings nur dann, wenn auch die Wärme über das ganze Jahr genutzt werden

kann. Langfristig würde dies jedoch die weitere Abhängigkeit von dem endlichen fossilen Rohstoff Erdgas bedeuten.

2.2 Bewegliche Anlagen in PKW

Hier werden zwei Wege verfolgt:

- Einsatz von Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor (z.B. BMW)
- Einsatz von Wasserstoff in einer Brennstoffzelle (z.B. Daimler-Chrysler), zunächst mit Methanol und einem Reformier im PKW zur Wasserstoffherstellung.

Das System Wasserstoff und Brennstoffzelle ist wegen des besseren Wirkungsgrades gegenüber dem Verbrennungsmotor grundsätzlich von Vorteil, hat jedoch einen längeren Entwicklungsweg vor sich.

In beiden Fällen ist jedoch die Wasserstoffversorgung das Problem. Sofern man nicht den Weg über Methanol geht, muss der Wasserstoff in Druckspeichern oder als flüssiger Wasserstoff (Siedepunkt: -253 °C) gespeichert werden. In beiden Fällen sind zusätzliche Energiekosten für die Verdichtung bzw. Verflüssigung (10-20 % des Energieinhaltes des Wasserstoffs) erforderlich. Außerdem verdampft ständig ein Teil des Wasserstoffs.

Andere Systeme, etwa die

Speicherung in Metallhydriden (z.B. als Magnesiumhydrid) haben sich bisher wegen der Anreicherung von Spurenbestandteilen und der damit laufenden Reduzierung der Speicherkapazität nicht bewährt.

3. Risiken der Wasserstoffanwendung

Wasserstoff bildet mit Luft ein explosives Gemisch („Knallgas“). Der Zündbereich ist mit 4-75 Vol.% in Luft viel größer als der von Erdgas (5-15 Vol. % in Luft).

Wasserstoff ist deshalb kritischer bei der Anwendung, insbesondere in geschlossenen Räumen. Im Freien entweicht Wasserstoff infolge seiner geringen Dichte von nur $0,09\text{ kg/m}^3$ jedoch deutlich schneller nach oben als Erdgas (Dichte $0,7\text{ kg/m}^3$).

Technologisch ist der Umgang mit diesen brennbaren Gasen gelöst. Aber das Risiko der Anwendung von Wasserstoff durch Laien, also nicht durch Fachleute in Industrieanlagen, erscheint dennoch größer als bei der direkten Stromanwendung, wie bisher schon die immer wieder auftretenden Explosionen beim Einsatz von Erdgas in Privathaushalten zeigen. ■