

Wasserstoff, Energieträger der Zukunft. Oder?

Fossile Rohstoffe sind endlich, andererseits sind viele Anwendungen von Energie heute undenkbar ohne Benzin & Co. Gerade in der Mobilität sind die Auto-Käufer noch bei weitem nicht so von alternativen elektrischen Antrieben überzeugt, wie das die Bundesregierung gerne hätte. Das Ziel, bis zum Jahr 2020 eine Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen zu haben, wird deutlich verfehlt werden. Ein weiterer "alternativer" Antrieb ist, Wasserstoff als Brennstoff zu verwenden, entweder über Verbrennungsmotoren oder über Brennstoffzellen. Die Energiebilanz solcher Konzepte ist allerdings verheerend.



Einer der Physiker, der die gesamte Wertschöpfungskette in der Wasserstoffproduktion und -nutzung durchgerechnet hat, ist Ulf Bossel ("Wasserstoff löst keine Energieprobleme"). Bossel ist einer der Erfinder der "Energiewende" und hat sein berufliches Leben damit zugebracht, Konzepte für ihre erfolgreiche Umsetzung zu entwickeln. Was mir an seinen Ausführungen zur Wasserstoff-Wirtschaft gefällt, ist die Berücksichtigung aller Zwischenstufen zwischen Stromerzeugung und Tank. Das ist eine ehrliche Rechnung, die von anderen Forschern oft übersehen wird. Daher finden sich viele Publikationen und Aussagen, die ausschließlich auf den Elektrolyse-Wirkungsgrad abheben, aber die weitere Prozesskette unberücksichtigt lassen.

Das Konzept zukünftiger Mobilität wird von vielen Autoren so beschrieben: Wasserstoff könnte mit Solarenergie in südlichen Breiten erzeugt werden, müsste dann komprimiert

werden, in Pipelines nach Mitteleuropa transportiert werden, dort zu den Tankstellen verbracht werden, wo er in die Tanks der Wasserstoff-Fahrzeuge umgefüllt würde. Bei jedem dieser Schritte geht allerdings Energie verloren, was durch den jeweiligen Wirkungsgrad ausgedrückt wird. In der Summe müssen die Wirkungsgrade der einzelnen Prozessschritte am Ende multipliziert werden. Rechnen wir nach, wieviel Energie übrigbleibt und was das am Ende der Prozesskette kostet.

- Die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff (Elektrolyse) kann in großtechnischen Anlagen geschehen. Je nach Anlage und praktischen Einsatzbedingungen gehen dabei 20-50 Prozent der eingesetzten elektrischen Energie verloren und der Rest wird in Prozesswärme umgewandelt. Bossel rechnet im Mittel mit 43% Energieverlust, der Wirkungsgrad hierfür ist also 57%. Der Wert ist auch deswegen viel niedriger als die technisch erzielbaren Spitzenwerte im Wirkungsgrad, weil die Anlagen ja nur dann produzieren, wenn die Sonne scheint und mithin häufig in Teillast laufen, also fern des optimalen Betriebspunktes. Auch sind bei großtechnischen Anlagen erhebliche Anstrengungen für die Kühlung zu leisten, die den Wirkungsgrad reduzieren.
- Die Elektrolyse erzeugt Wasserstoff bei normalem Atmosphärendruck, er kann aber nur bei einigen hundert Atmosphären transportiert werden. Den Energieverlust für die Kompression auf 200 bar gibt Bossel mit 7% an, der Wirkungsgrad für diese Umwandlung beträgt also 93%.
- Der Transport vom südlichen Mittelmeer über Pipelines, also im Mittel über 2.000 km, in die industriellen Zentren Mitteleuropas kostet laut Bossel etwa 15% der Energie des Wasserstoffs, übrig bleiben also ca. 85%. Allerdings sind hier stoffliche Verluste noch nicht berücksichtigt. Denn es gibt kein Material, das Wasserstoff zuverlässig zurückhält, stattdessen diffundiert Wasserstoff durch alle bekannten Materialien hindurch.
- Für den Straßentransport von den Endstellen der Pipelines zu den Tankstellen darf man wohl im Mittel 200km Entfernung annehmen, was laut Bossel weitere 13% der im Wasserstoff gespeicherten Energie kostet. Der "Transportwirkungsgrad" auf der Straße ist also 87%.
- Das Verfüllen in einen Tank mit noch höherem Druck kostet wieder Energie, Bossel geht von 4% aus. Verbleiben 96%.

Im Zwischenstand verbleibt von der ursprünglich eingesetzten elektrischen Energie $57\% \times 93\% \times 85\% \times 87\% \times 96\%$, also 38% im Tank. Den Wirkungsgrad von Brennstoffzellen gibt Bossel mit 50% an, für Mobilität können also ca. 19% genutzt werden, was auch den sogenannten Wiederverstromungs-Wirkungsgrad darstellt. Verbrennungsmotoren, die Wasserstoff nutzen können, haben einen noch schlechteren Wirkungsgrad, aber das gilt ja schließlich auch für Benzin- oder Dieselmotoren. Ähnliche Werte ergeben sich, wenn nach der Elektrolyse der Wasserstoff verflüssigt würde. Dies kostet zunächst mehr Energie (ca. 28%), der Transport ist dafür etwas günstiger.

Auch andere Technologien, um elektrische Energie in Gas umzuwandeln, das mit seiner chemisch gebundenen Energie einen künstlich erzeugten Brennstoff darstellt (sog. Power-to-

Gas-Technologien), kommen auf ähnlich niedrige Wirkungsgrade. Methan lässt sich beispielsweise im existierenden Erdgasnetz leichter transportieren und vielfältiger nutzen als Wasserstoff. Die Herstellung von Methan aus Wasserstoff und Kohlendioxid (bspw. aus Abscheidung eines Kohlekraftwerks) ist bereits erprobt. Der Wirkungsgrad für diesen Syntheschritt liegt bei maximal 60%, so dass vor der Verflüssigung (ca. 10% Energieverlust) nur 31% der elektrischen Energie im Flüssiggas auf die Reise geschickt wird. Auch wenn die Transportverluste geringer sind (3-5%) und moderne Gaskraftwerke auf einen Verstromungswirkungsgrad von 60% kommen, bleiben am Ende auch nur 18% der Energie übrig.

Doch zurück zur reinen Wasserstoff-Wirtschaft. Auf der Kostenseite haben die niedrigen Gesamtwirkungsgrade gravierende Folgen. Selbst wenn Solarstrom für 1,8 Cents je Kilowattstunde produziert werden könnte, wie es ein Fraunhofer-Institut für das Jahr 2050 perspektivisch erwartet, bedeutet ein Gesamtwirkungsgrad für die Wiederverstromung von 19%, dass bereits die eingesetzte Energie $1,8 \text{ c/kWh} / 19\% = 9,5 \text{ c/kWh}$ kosten wird, also das Zweibis Dreifache heutiger Stromkosten. Hinzu kommen die Kosten für alle anderen Prozessschritte und den Transport, was nach meiner Erfahrung mindestens 12 c/kWh ausmacht. Insgesamt wäre die so gewonnene elektrische Energie also um vieles teurer als die heutige. Dabei ist zu bedenken, dass das letzte Mal, als Energie sehr teuer wurde und Rohöl über 140 US-Dollar pro Fass kostete, die Weltwirtschaft in eine tiefe Rezession rutschte.

Auch die Tankreichweite in einem Elektrofahrzeug spricht gegen Wasserstoff als Energieträger. Der Toyota Mirai kann als Wasserstoff-Auto mit einem Tankvolumen von riesigen 240 Litern gerade mal 5 Kilogramm Wasserstoff speichern, und das bei einem Druck von 700 bar. Der Energiegehalt entspricht etwa 20 Litern Dieselmotorkraftstoff, was im Praxistest – die F.A.Z. hatte hierüber vor ein paar Monaten einen schönen Artikel – für etwa 300 km Reichweite ausreicht.

Wie man es dreht und wendet, Power-to-Gas im Allgemeinen und Wasserstoff-Wirtschaft im Besonderen scheitern am schlechten Wirkungsgrad und den damit verbundenen hohen Kosten: Die Umsetzung von Solar- oder Windenergie in Wasserstoff oder Methan für eine Nutzung zu anderer Zeit oder an anderem Ort bedeutet immer, dass etwa vier Fünftel der elektrischen Energie verloren geht. Umgekehrt müssten dementsprechend fünf Mal mehr Flächen mit Solar- oder Windkraftwerken bedeckt werden. Mit heutigen Technologien und heutigen volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist dies nicht zu leisten. Es liegt also noch viel Arbeit bei den Forschern, um die Wirkungsgrade der einzelnen Prozessschritte zu optimieren. Das wird nicht einfach, wird daran doch schon seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts intensiv geforscht. Wir sollten mit technologischen Durchbrüchen daher nicht vor der Mitte unseres Jahrhunderts rechnen.

19. Dezember 2016