



# Falsche Versprechen führen in die Krise

**Wasserstoff** | Überschüssigen Strom aus erneuerbaren Quellen in Form von Wasserstoff zwischenspeichern und bei Bedarf wieder verstromen. Das hört sich eigentlich ganz vernünftig und nachhaltig an. Leider hört es sich besser an, als es tatsächlich ist: Wasserstoff wird den Umbau des Energiesystems nicht voranbringen.

ULF BOSSEL

**N**ur Energie aus erneuerbaren Quellen kann der Menschheit für alle Zeiten klimaneutral dienen. Die von Wind, Sonne, Wasser und Wellen geerntete Energie steht allen Sektoren der Energienutzung in hochwertigster Form als elektrischer Strom zur Verfügung. Für den Transport des grünen Primärstroms von der Quelle zum Energieverbraucher gibt es jedoch mehrere Wege mit unterschiedlichen Energiebilanzen. Zur Verwirklichung der Energie- und Klimawende muss deshalb zuerst die Frage beant-

wortet werden: «Wie kann mit einer Kilowattstunde grünem Primärstrom am meisten Nutzen im Endbereich generiert werden?»

Man muss also Energiewandlungsketten miteinander vergleichen, denn die Nutzungssektoren werden über unterschiedliche Wege mit Energie versorgt. Die spezifischen Energieverluste oder Wirkungsgrade der einzelnen Wandlungsschritte sind hinreichend gut bekannt. Man kann für jede dieser Übertragungsketten die Gesamtenergiebilanz «von der Wiege

bis zur Bahre» erfassen und das zukünftige Energiesystem gezielt für eine möglichst hohe Gesamteffizienz optimieren. Leider sind die Energiebilanzen der Wasserstoffnutzung noch nicht Teil der öffentlichen Diskussion. Wasserstoff ist nicht eines von vielen Gasen, sondern das leichteste mit speziellen Eigenschaften. Für alle physikalischen Wandlungsschritte wird wesentlich mehr Energie benötigt als für Erdgas. Wasserstoff ist deshalb für die Gestaltung der Energiewende ein unbequemer Energieträger.

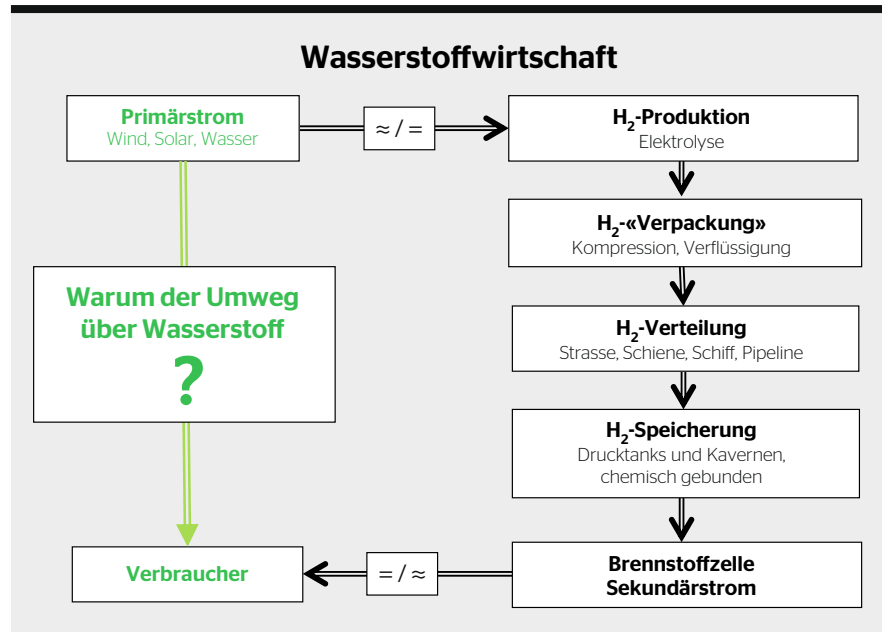
Die Wasserstoffversorgung beginnt mit der Beschaffung und Destillation des Wassers (9 l pro kg H<sub>2</sub>) für die Elektrolyse. Der erzeugte Wasserstoff muss dann mehrfach komprimiert, verteilt, gespeichert und umgefüllt werden. Im Endbereich wird er mit Brennstoffzellen wieder in Strom verwandelt, in Gaskesseln verbrannt oder mit hohem Energieaufwand zur Herstellung flüssiger Kraftstoffe verwendet, mit denen man konventionelle Verbrennungsmotoren weiter betreiben möchte. Alle Wandlungsschritte zwischen grünem Primärstrom, Wasserstoff und Nutzung des mit Brennstoffzellen erzeugten Sekundärstroms sind mit Energieverlusten oder zusätzlichem Energiebedarf verbunden.

Die in Luzern 2002 auf dem European Fuel Cell Forum vorgetragene Energieanalyse einer Wasserstoffwirtschaft «The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?» ist 2006 im Auftrag des Fraunhofer Instituts für Technikfolgenabschätzung in deutscher Sprache veröffentlicht worden [1]. Basierend auf diesen allgemein zugänglichen Ergebnissen wird im Folgenden vergleichend dargestellt, welchen Nutzen man aus grünem Primärstrom ziehen kann, wenn man ihn direkt über bestehende Leitungen oder indirekt über ein noch nicht vorhandenes Wasserstoffnetz verteilt.

Alle Antworten verdeutlichen, dass Wasserstoff ein für die Energiewende ungeeigneter Energieträger ist, denn mit grünem Strom und dem bestehenden Stromnetz lässt sich der Endbereich ebenso umweltneutral, aber wesentlich effizienter und kostengünstiger mit sauberer Energie versorgen.

### Beispiel 1: Nachhaltige Wärmeherzeugung

Eine grüne Kilowattstunde kann über bestehende Leitungsnetze mit vernachlässigbaren Verlusten verteilt und direkt in eine kWh Heizwärme umgewandelt werden. Man kann mit der Kilowattstunde auch eine Wärmepumpe betreiben und erhält dann etwa 3 kWh Wärme. Auch lässt sich mit dem grünen Primärstrom Wasser elektrolytisch spalten. Der so erzeugte Wasserstoff wird im Erdgasnetz verteilt und in Heizkesseln verbrannt. In diesem Fall müssen mit dem grünen Primärstrom alle zuvor genannten Wandlungsschritte energetisch bedient werden. Lediglich ein Drittel der Originalenergie steht noch für die Erzeugung von Nutzwärme



Arbeitsschritte, welche beim Umweg über Wasserstoff ausgeführt werden müssen.

zur Verfügung. Der Vergleich mit den zwei anderen Optionen ist vernichtend. Eine grüne Kilowattstunde liefert mit Wärmepumpe 3 kWh, mit Widerstandsheizer 1 kWh, mit Wasserstoff jedoch nur  $\frac{1}{3}$  kWh als nutzbare Heizwärme, also 9 zu 3 zu 1. Es ergibt keinen Sinn, aus grünem Primärstrom Wasserstoff zu erzeugen, den man ins bestehende Erdgasnetz einspeist, um ihn dann in Heizkesseln zu verbrennen. Die mit grünem Strom betriebene elektrische Wärmepumpe ist der klare Sieger für eine nachhaltige Wärmeherzeugung.

### Beispiel 2: Nachhaltige Mobilität

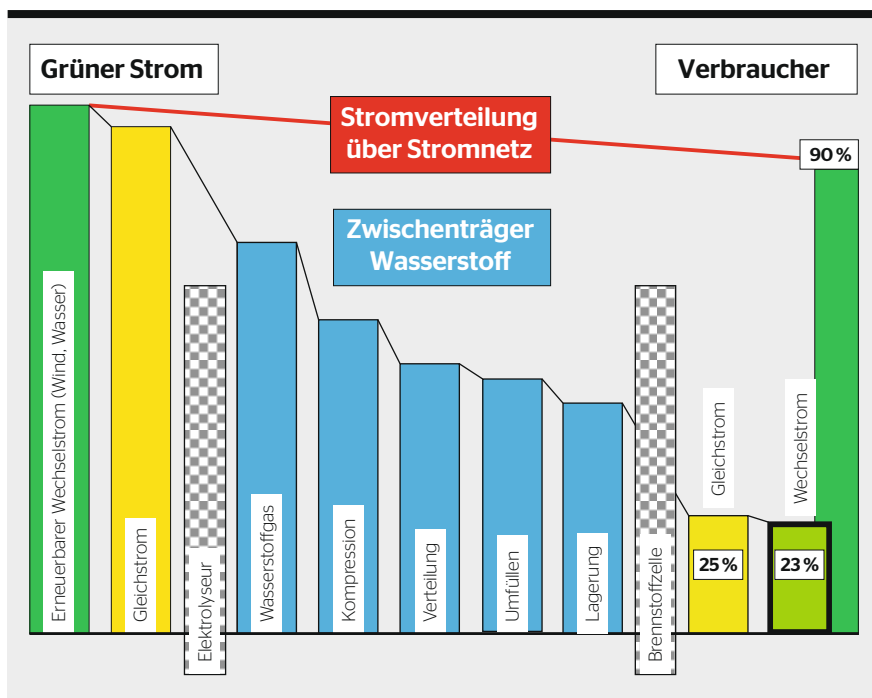
Auch hier stellt sich die Frage, ob man die grüne Kilowattstunde direkt in Fahrzeugbatterien steckt oder zur Erzeugung von Wasserstoff verwendet, den man mit hohem Druck in die Tanks von Brennstoffzellenfahrzeugen füllt. Die Lieferkette unterscheidet sich geringfügig von der Wasserstoffverteilung als Brenngas. Der bei mittlerem Druck über Rohrleitungen oder Tanklastwagen verteilte Wasserstoff muss an der Tankstelle zum Befüllen der Fahrzeugtanks noch einmal auf 900 bar verdichtet werden. Im Gegensatz zur Batterieladung am Strassenrand wird auch Strom für den Betrieb der bemannten Tankstellen benötigt. Nur 40% der mit dem Wasserstoff getankten Energie steht der Brennstoffzelle als Nutzenergie zur Verfügung. Diese kann jedoch im Mittel

höchstens 50% in Strom für die Antriebsmotoren umwandeln. Der Gesamtwirkungsgrad der Wasserstoffkette liegt bei etwa 20%. Vom grünen Primärstrom sind bei einem Batterieantrieb etwa 80% für den Fahrzeugantrieb nutzbar. Auch kann Bremsenergie zurückgewonnen werden. Der Systemwirkungsgrad liegt deshalb bei 85%. Mit dem grünen Strom, der für den Betrieb eines Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeugs benötigt wird, können also mindestens vier gleichwertige Fahrzeuge mit Batterie betrieben werden. Im Verkehrsbereich kann Wasserstoff deshalb keine Zukunft haben. Nicht nur die hohen Energieverluste, sondern auch die enormen Investitions- und Betriebskosten verhindern für alle Zeiten, dass sich Wasserstoff gegenüber grünem Strom im Verkehr behaupten kann. Eindeutiger Sieger ist auch hier der elektrische Weg.

Für den interkontinentalen Verkehr zu Luft und zu Wasser wird man jedoch fossile oder synthetische Energieträger einsetzen müssen, denn die für Wasserstoff benötigten Tankvolumen lassen sich kaum in Langstreckenflugzeugen unterbringen. Umso wichtiger ist die schnelle Umstellung am Boden auf grünen Strom.

### Beispiel 3: Wasserstoff in Gaskraftwerken

Auch soll grüner Wasserstoff eine CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung in Gaskraftwer-



Energiekaskade für Wasserstoff im Vergleich zur direkten Stromlieferung.

ken sichern. Hier gelten zuerst einmal die im Beispiel 1 genannten Wirkungsgrade für die Wasserstofflieferung zum Gasbrenner. Dann folgt jedoch noch der Wirkungsgrad der Gasturbine, der hier mit 50 % angesetzt wird. Vom grünen Primärstrom, der als Wasserstoff verteilt und in einem Gaskraftwerk wieder in Strom verwandelt wird, sind also nur noch etwa 20% als Sekundärstrom nutzbar. Für eine Energieverteilung mit Wasserstoff müssen viermal mehr Wind- oder Solarkraftanlagen errichtet werden als für eine direkte Stromversorgung über bestehende Netze. Auch hier ist die direkte Netzeinspeisung des grünen Stroms eindeutiger Sieger.

#### Beispiel 4: Synthetische Kraftstoffe

Der mit grünem Strom hergestellte Wasserstoff kann mit Kohlenstoff künstlich zu synthetischen Energieträgern vereint werden, mit denen fossile Brennstoffe ersetzt werden sollen. Der benötigte Kohlenstoff wird entweder aus fossilen Quellen gewonnen oder als  $\text{CO}_2$  von Abgasen und Luft getrennt. In beiden Fällen wird  $\text{CO}_2$  nicht beseitigt, sondern lediglich unter neuem Label recycelt. Diese auch als «Power to Gas» oder «Power to Liquid» bekannten Verfahren sind jedoch sehr energieintensiv. Zu den bereits bei der

Wasserstoffherzeugung entstandenen Energieverlusten kommt der Energiebedarf für die  $\text{CO}_2$ -Abscheidung hinzu. Der Gesamtwirkungsgrad bei der Herstellung synthetischer Kraftstoffe liegt unter 15%. Beim Einsatz dieser grünen Kraftstoffe in Verbrennungsmotoren gehen noch einmal 70% zwischen Vergaser und Antriebsrad verloren. Auf die Strasse gebracht werden deutlich weniger als 10% der grünen Primärenergie. Bei elektrischem Antrieb wären es etwa 85%. Mit dem grünen Primärstrom, der zum Betrieb eines Verbrenners mit synthetisch hergestellten «grünen» Kraftstoffen benötigt wird, könnte man also etwa neun gleichwertige Batteriefahrzeuge mit Strom versorgen. Auch hier ist der elektrische Weg der klare Sieger.

#### Beispiel 5: Chemische Anwendungen

Bei allen chemischen Prozessen, die heute mit fossilen Brennstoffen oder dem daraus gewonnenen Wasserstoff durchgeführt werden, kann grüner Wasserstoff den  $\text{CO}_2$ -Ausstoß stark vermindern. Energie wird jedoch vor allem zur Beheizung der Reaktoren eingesetzt. Nur ein kleiner Teil des Brennstoffs wird für den chemischen Prozess benötigt. Fossile Energieträger wie Koks, Erdgas oder Erdöl haben in Hochöfen und anderen Chemiereak-

toren eine thermische und eine chemische Funktion. Die vollständige Substitution der fossilen Brennstoffe führt zu einem enormen Wasserstoffbedarf. Als nachhaltige Lösung bietet sich jedoch eine Trennung von Aufheizung und Reaktionschemie an. Mit grünem Strom wird geheizt, mit grünem Wasserstoff wird reduziert. In diesem Fall wird grüner Strom sinnvoll genutzt und Wasserstoff lediglich zur chemischen Reaktion verwendet. Wieder ist die elektrische Beheizung mit grünem Strom besser als die einfache Substitution der für den Gesamtprozess eingesetzten fossilen Energieträger durch Wasserstoff. Man könnte weitere Beispiele zitieren. Alle haben eins gemeinsam: Der Einsatz von grünem Wasserstoff ist nur dann sinnvoll, wenn er in chemischen Reduktionsprozessen kohlenstoffhaltige Energieträger ersetzt.

#### Beispiel 6: Energiespeicherung

Die Speicherung von Sommerstrom für die Wintermonate ist sicherlich eine bisher ungelöste Aufgabe. Wasserstoff wird ernsthaft diskutiert, aber auch in diesem Fall können selbst bei effizienter Rückwandlung mit Brennstoffzellen vom grünen Primärstrom nur etwa 20% dem Endverbrauch zugeführt werden. Wegen der geringen volumetrischen Energiedichte von Wasserstoff werden massive Speichertanks für Hochdruck- und riesige Kavernen für Niederdruck-Speicherung benötigt. Auch synthetisch hergestellte Flüssigkeiten oder Gase sind im Gespräch. Bei diesen Stoffen sinkt der Gesamtwirkungsgrad auf unter 10%.

Zurzeit wird über viele Möglichkeiten nachgedacht, wirtschaftliche Lösungen sind aber noch keine in Sicht. Zuerst sollte jedoch der Energiebedarf im Winter durch Gebäudeisolation und organisatorische Massnahmen drastisch gesenkt werden, damit eine saisonale Speicherung der im Sommer geernteten Sonnenenergie überhaupt machbar wird.

#### Fazit

Die Energiewende wird in eine «Elektronenwirtschaft» münden. Mit diesem Begriff wird der umfassendere Einsatz von grünem Strom beschrieben, dessen Ursprung Sonnenenergie ist und der dezentral direkt oder indirekt mit Photovoltaik-, Wind- oder Wasserkraftanlagen geerntet wird.

Elektronenwirtschaft ist nicht gleichzusetzen mit «Elektrizitätswirtschaft». Die Schaffung einer Elektronenwirtschaft ist aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht weit sinnvoller als der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft. Bis eine flächendeckende neue H<sub>2</sub>-Infrastruktur entstanden ist, müssten in den kommenden Jahren riesige Investitionen getätigt werden, die es eigentlich überhaupt nicht braucht, um das Klima zu retten. Denn die Versorgungsstruktur für eine Elektronenwirtschaft existiert bereits und muss nur teilweise ergänzt oder ertüchtigt werden.

Notwendig ist jedoch eine rationellere Stromnutzung im Endbereich. So führt beispielsweise der einfache Austausch von Heizkessel durch elektrische Wärmepumpen mit gleicher Heizleistung zu einem Strommangel im Winter. Sinnvoller ist, Gebäude energetisch zu sanieren, bevor man den Ölkessel durch eine kleine Luft-Luft-Wärmepumpen ersetzt. Solche organisatorischen Massnahmen könnten gesetzlich geregelt werden.

Energie- und Klimaproblem lassen sich gemeinsam mit grünem Strom und begleitenden Sparmassnahmen

relativ schnell lösen. Mit dem zeitraubenden, aufwendigen und energetisch fragwürdigen Umweg über Wasserstoff wird die drohende Klimakatastrophe jedoch kaum zu vermeiden sein. Die Politik muss schnellstens umdenken, bevor die Weichen in Richtung einer Sackgasse gestellt sind.

#### Referenz

[1] [www.leibniz-institut.de/archiv/bossel\\_16\\_12\\_10.pdf](http://www.leibniz-institut.de/archiv/bossel_16_12_10.pdf)

#### Autor

Dr. **Ulf Bossel** ist Berater für nachhaltige Energielösungen.  
→ 5454 Oberrohrdorf  
→ [ubossel@bluewin.ch](mailto:ubossel@bluewin.ch)

## RÉSUMÉ

### De fausses promesses qui mènent à la crise

#### Hydrogène

Seule l'énergie produite à partir de sources renouvelables peut servir l'humanité de manière climatiquement neutre à très long terme. L'énergie d'origine éolienne, solaire, hydraulique et houlomotrice est disponible sous la forme d'électricité de la plus haute qualité pour tous les secteurs utilisateurs. Cependant, pour transporter le courant primaire vert de la source au point de consommation, il existe plusieurs voies présentant des bilans énergétiques différents.

Le tournant énergétique débouchera sur une «économie de l'électron». Ce terme désigne l'utilisation plus large de l'électricité verte produite à partir de l'énergie solaire et collectée de manière décentralisée, directement ou indirectement, au moyen d'installations photovoltaïques, éoliennes ou hydroélectriques.

L'économie de l'électron n'est pas synonyme d'«économie de l'électricité». D'un point de vue énergétique et éco-

nomique, la mise en place d'une économie de l'électron est de loin préférable à celle d'une économie de l'hydrogène. En attendant la création d'une nouvelle infrastructure H<sub>2</sub> à l'échelle nationale, il faudrait réaliser au cours des prochaines années des investissements colossaux, qui ne sont absolument pas nécessaires pour sauver le climat. En effet, la structure d'approvisionnement sur laquelle repose une économie de l'électron existe déjà: il suffit de la compléter ou de la moderniser en partie.

Les problèmes liés à l'énergie et au climat peuvent être résolus assez rapidement au moyen de l'électricité verte et des mesures d'économie qui l'accompagnent. Long, coûteux et discutable sur le plan énergétique, le détour par l'hydrogène ne permettra pas quant à lui d'éviter la catastrophe climatique qui nous menace. Les responsables politiques doivent revoir leurs avis au plus tôt avant que nous nous dirigeons vers une impasse.

MR