

# KOMMT JETZT DIE ZEIT DER WASSERSTOFFWIRTSCHAFT?

## NEIN! FÜR DIE ENERGIEWENDE IST WASSERSTOFF KEINE WUNDERWAFFE



Quelle: Wikimedia Commons, A. Brenning

Bild 1: Wasserstoffzentrum Höchst

### Übereilte Reaktionen

Putin dreht den Gashahn zu: Was soll's, dann machen wir's halt mit Wasserstoff. So könnten die Reaktionen in Berlin, Brüssel und anderen Hauptstädten Europas verkürzt beschrieben werden. Gas ist Gas. Was mit Erdgas funktioniert, das geht auch mit Wasserstoff. Wir haben ja ein Gasnetz. Lassen wir Wasserstoff statt Erdgas fließen und schon ist die Energieversorgung wieder gesichert. Mit Wasserstoff kann Auto gefahren oder geheizt werden, auch können chemische Prozesse durchgeführt werden. Mit Brennstoffzellen lässt sich sogar Strom erzeugen. Alles eine Sache der Technik. Mit einer Wasserstoffstrategie werden wir die notwendigen Maßnahmen umsetzen. Mit Grünstrom wird Wasser elektrolytisch in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Das kann hier geschehen oder aber in sonnenreicheren Gebieten der Welt. Der verflüssigte Wasserstoff wird dann in den Tankschiffen transportiert, die für Erdgas nicht mehr benötigt werden. Erdgas sollte ohnehin nicht länger genutzt werden, weil bei der Verbrennung das klimaschädigende CO<sub>2</sub> entsteht. Wir liegen also richtig! Mit diesem rudimentären Verständnis wird Politik gemacht. Physikalische Zusammenhänge bleiben unberücksichtigt. Es bleibt nur Kopfschütteln.

Zur Unterstützung dieser Politik wird ein Wasserstoffbeirat gegründet, in dem vorwiegend Institutionen und Firmen

vertreten sind, deren Existenz eng mit Wasserstoff verbunden ist: Forschungsinstitute, Lehrstühle für Wasserstoff, Gasversorgung, Hersteller und Entwickler von relevanten Systemen und Komponenten, Energieberater und natürlich auch ideale Vereinigungen, deren satzungsgemäße Aufgabe die Förderung von Wasserstoff als Energieträger ist. Hier kann Selbstbedienung vermutet werden. Ein unabhängiges Gericht würde den Wasserstoffbeirat als befangen ablehnen. Die Wasserstofflobby hat sich jedoch in der Politik Vertrauen erarbeitet und soll nun die Energiewende richten. Bei Berücksichtigung der einschlägigen Physik kann Wasserstoff allenfalls ein kleiner Teil der Energiewende sein. Die Veränderungen im Energiebereich sind umfassender und sollten von einem unparteiischen Energiebeirat begleitet werden, der alle Aspekte des Wandels berücksichtigt.

### Energiewende ist Pflicht

Nicht die Umrüstung des Energiesystems auf Wasserstoff ist die Aufgabe, sondern die Schaffung einer auf Grünstrom basierenden sicheren und nachhaltigen Energieversorgung. Wesentliche Bereiche des bestehenden Energiesystems müssen neu gestaltet werden. Die auf fossilen Energieträgern aufgebaute Energiewirtschaft wird die Energiewende mit den Geschäftsmodellen von gestern nicht überleben. Für das Energiesystem der Zukunft muss der Energieweg von der Quelle bis zur Senke neu optimiert und gestaltet werden. Der von Sonne, Wind & Co. geerntete Grünstrom soll im Endbereich einen möglichst hohen Nutzen schaffen. Für alle Wandlungsschritte müssen also Energiebedarf und Energieverluste minimiert werden. Es geht um die Energiebilanzen „von der Wiege bis zur Bahre“ für alle Optionen der Energielieferung von grüner Energie zum Endverbraucher. Die Gesamteffizienz ist gefragt, nicht die Machbarkeit einzelner Wandlungsschritte der Energiekette.

Zwei Lieferwege zeichnen sich ab. Grünstrom kann über das zu ertüchtigende Netz direkt verteilt werden. Mit Grünstrom kann auch Wasserstoff herge-

stellt werden, der über ein neues Gasnetz verteilt und im Endbereich als Brennstoff genutzt oder wieder in Strom verwandelt wird.

Die zwei Optionen unterscheiden sich bezüglich Energieverlusten und Energiebedarf erheblich. Bei der direkte Stromlieferung ergeben sich Transformations- und Leitungsverluste. Für den Wasserstoffweg beginnt die Energiekette ebenfalls beim Grünstrom. Dieser wird benötigt für Wasserbeschaffung und Aufbereitung, Elektrolyse, Wasserstoffkompression oder Verflüssigung, Wasserstofftransport mit Pipelines, Tankfahrzeugen oder Tankschiffen, Druckerzeugung für die Befüllung von Speichern, erneute Kompression auf 900 bar für die Befüllung von Fahrzeugtanks, Verluste in Brennstoffzellen oder Heizkesseln bis zur gewünschten Energiedienstleistung in Form von Strom oder Wärme. Der energetische Wirkungsgrad der Wasserstoffkette wird durch eine Vielzahl von technischen Prozessen bestimmt, die alle mit Gleichungen erfassbar sind. Für die wesentlichen Stationen dieser Energiekette sind die energetischen Zusammenhänge bereits 2002 auf dem European Fuel Cell Forum präsentiert und später mit einem erläuternden Vorwort ins Netz gestellt worden<sup>1)</sup>.

### Grüne Energie: Lieferung per Draht oder Pipeline?

Beide Wege der Energieverteilung beginnen mit Grünstrom, also mit der sauberen und nachhaltigen Stromernte von Sonne, Wind, Wasserkraft, Wellenbewegung, Tidenhub und Geothermie. Die unterschiedlichen Energiepfade enden beim Endverbraucher. Wärme wird für Heizen, Kochen, Backen, Kühlen, Waschen und industrielle Fertigungsprozesse benötigt. Wir wollen uns gleichzeitig mit Auto, Bahn, Fahrstuhl, Flugzeug und Schiff bewegen und per Telefon, Radio und Fernsehen mit anderen in Verbindung bleiben. Energie wird auch für die Herstellung von Lebensmitteln, Pharmazeutika, Kunststoffen und Einrichtungsgegenständen benötigt. Mit Ausnahme der Wärmerzeugung kann

keine der genannten Energiedienstleistungen mit Wasserstoff direkt erbracht werden. Die in Form von Wasserstoff in den Endbereich gelieferte chemische Energie muss also zuerst wieder in Strom zurückverwandelt werden. Weshalb wird als Schlüssel zur Energiewende der Aufbau einer neuen Wasserstoffverteilung mit zweifacher Energiewandlung gefordert, obgleich die direkte Verteilung des Grünstroms über das bestehende Leitungsnetz wesentlich einfacher und die Energie sofort nutzbar ist? Weshalb wird der direkte Weg vom Grünstrom zur Endnutzung nicht als Primärziel ernsthaft diskutiert? Offensichtlich fehlen detaillierte Kenntnisse der physikalischen Prozesse, die notwendig sind, um den Endverbraucher mit Grünstrom zu versorgen. Es wird von Schaubildern ausgegangen, auf denen Stromleitungen von Windkraftanlagen zum Elektrolyseur und von diesem Wasserstoffleitungen zu Tankstellen, Heizkesseln oder Brennstoffzellen gezeigt werden. Alles ist machbar und erprobt. Aber ist es energetisch betrachtet auch sinnvoll im Vergleich zur direkten Lieferung des Grünstroms an die Verbraucher? Die Antwort auf diese Frage liefern die Gesamtenergiebilanzen für beide Optionen.

## Energieverschwendung mit Wasserstoff

Im zitierten Bericht werden alle wesentlichen Aspekte einer Wasserstoffwirtschaft als Bausteine präsentiert. Mit diesen können die Energiebilanzen für unterschiedliche Wandlungsketten zusammengesetzt werden, also mit Wasserstoff Auto fahren, Wohnraum beheizen, Strom erzeugen usw. Für jedes Kettenglied werden Energiebedarf oder Energieverluste parametrisch auf den Energieinhalt des beteiligten Wasserstoffs bezogen. Hierfür wird physikalisch korrekt der Brennwert (Bildungsenergie) von Wasserstoff verwendet. Die Ergebnisse dieser Energieanalysen scheinen bei vielen Befürwortern einer Wasserstoffwirtschaft nicht präsent zu sein. Unter optimierten Betriebsbedingungen gehen bei der Elektrolyse bereits 40 % der zugeführten Grünstromenergie verloren. Bei der Kompression auf 250 bar sind es etwa 13 %, bei 900 bar etwa 21 % der Enthalpie des Wasserstoffs. Für die Verflüssigung werden etwa 45 % benötigt. Die Brennstoffzelle kann bei optimierter Belastung nur etwa 50 % wieder in Gleichstrom verwandeln. Dazu kommen Energiebedarf für Transport und Energieverluste bei der Umfüllung. In einem

gegebenen Volumen und bei gleichem Druck lässt sich mit Erdgas dreimal mehr Energie speichern als mit Wasserstoff. Folglich ist bei gleichem Energietransport in Rohrleitungen die nötige Fließgeschwindigkeit für Wasserstoff dreimal höher als für Erdgas. Zur Überwindung der höheren Druckverluste wird mehr Förderenergie benötigt. Mit flüssigem Wasserstoff beladen können Tankschiffe im Vergleich zu Flüssiggas nur ein Drittel der Erdgasenergie transportieren. Kosten, Materialprobleme, Wartungsfragen und Sicherheitsbedenken ergänzen die Liste. Energieaufwand und Nebenkosten machen die mit Wasserstoff gelieferte Energie im Vergleich zum Grünstrom aus der Leitung zu einem teuren Luxusgut. Der mit Wasserstoff erzeugte Sekundärstrom muss jedoch mit dem grünen Primärstrom konkurrieren, der direkt übers Netz geliefert wird. Im wirtschaftlichen Wettstreit ist der aufwändige indirekte Wasserstoffweg der direkten Stromverteilung über Kupferleitungen immer unterlegen.

## Schlanke Elektronenwirtschaft statt Wasserstoffwirtschaft

Grob gerechnet erlauben die im zitierten Bericht präsentierten Ergebnisse die folgenden Vergleiche: Mit dem Grünstrom,



SiliconPV Conference



SILICONPV 2023 & NPV WORKSHOP  
APRIL 11-14, 2023, DELFT THE NETHERLANDS & ONLINE  
[www.siliconpv.com](http://www.siliconpv.com)



AgriVoltaics2023



THE WORLD CONFERENCE AGRIVOLTAICS 2023  
APRIL 12-14, 2023, DAEGU, KOREA & ONLINE  
[www.agrivoltaics-conference.org](http://www.agrivoltaics-conference.org)



Die Konferenz für erneuerbare Wärme



33. SYMPOSIUM SOLARTHERMIE UND INNOVATIVE WÄRMESYSTEME  
09.-11. MAI 2023, KLOSTER BANZ, BAD STAFFELSTEIN  
[www.solarthermie-symposium.de](http://www.solarthermie-symposium.de)



Bild 2: Demonstrations-Power-to-Gas-Anlage in einem spanischen Windpark

der für den Betrieb eines mit Wasserstoff betriebenen Brennstoffzellenfahrzeugs benötigt wird, könnten vier gleichwertige Batteriefahrzeuge betrieben werden. Oder mit dem für die Beheizung eines Gebäudes mit Wasserstoff und Heizkessel benötigtem Grünstrom könnten drei gleichwertige Gebäude direkt elektrisch oder neun mit elektrischen Wärmepumpen versorgt werden. Fast alle Nutzungsmöglichkeiten für Wasserstoff enden mit ähnlich vernichtenden Zahlen. Ausnahme ist die Verwendung von grünem Wasserstoff für chemische Prozesse, die jetzt mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Hochöfen könnten mit Grünstrom aufgeheizt und das Erz bei hohen Temperaturen mit Wasserstoff reduziert werden. Bei näherem Hinschauen entpuppen sich fast alle Vorschläge für die Nutzung von Wasserstoff als voreilig präsentierte Luftschlüssel. Wasserstoff ist nicht die Wunderwaffe der Energiewende, sondern wird zu einem Bremsklotz für die Gestaltung einer nachhaltig aufgebauten und für alle Zeiten gesicherten Energieversorgung mit Grünstrom. Die Entwicklung führt zu einer „Elektronenwirtschaft“. Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft wird, peinlich für die Politik, in einer Sackgasse enden – eine Blendgranate statt einer Wunderwaffe. Mit Shakespeare höflich gesagt: „Viel Lärm um nichts“.

### Marktkräfte gestalten die Zukunft

Bereits heute lässt sich Strom billiger von Sonne und Wind ernten als in thermischen Kraftwerken produzieren. Das steht heute bereits fest: Atomkraftwerke der neuen Generation oder Fusionsreaktoren werden wesentlich teureren Strom liefern. Für Grünstrom werden jedoch weitere Kostensenkungen erwartet. Der mit Wasserstoff und Brennstoffzellen zu-

rückgeholte Grünstrom wird aber immer wesentlich teurer sein als der direkt vom Netz bezogene. Aufgrund dieser Kostenvorteile werden im Endbereich vermehrt elektrische Lösungen zum Einsatz kommen. Viele sind bereits vorhanden, andere werden für das günstige Energieangebot entwickelt. Hinzu kommen die Vorteile der dezentralen Stromernte. Strom wird nicht mehr in Kraftwerken hergestellt und über großmaschige Netze verteilt, sondern dort geerntet, wo er sinnvoll genutzt werden kann. Also Strom vom Hausdach zur Batterie im Keller und von dort in die Küche oder zum Elektromobil. Es fahren bereits die ersten Autos mit photovoltaischer Lackierung. Wir werden noch einige Wunder erleben, denn günstig zu erntender Grünstrom wird zur treibenden Kraft für technische Neuerungen. Wasserstoff wird den Markt kaum erobern. Im Automobilssektor erleben wir gerade eine Pulverisierung der Wasserstoffidee. Die Automobilindustrie hat die Rechnung gemacht und sich aus eigenem Ermessen für die Batterie entschieden. Andere Sektoren der Wirtschaft werden folgen.

### Energiespeicherung mit Wasserstoff

Radio Eriwan würde antworten: Ja, aber wir benötigen Speicher für Grünstrom. Das ist so. Ein Überfluss an Grünstrom wird dann geerntet, wenn die Sonne scheint und der Wind kräftig bläst. Dies ist jedoch nur an wenigen Stunden im Jahr der Fall. Weniger als 5 % des geernteten Windstroms können heute nicht ins Netz eingespeist werden. Bei Flusskraftwerken ist es bei Hochwasser ähnlich. Bei thermischen Kraftwerken ist die installierte Leistung immer wesentlich größer als die im Normalbetrieb vom Netz verlangte. Weshalb sollte es bei

Grünstrom anders sein? Überkapazitäten sind für den gesicherten Netzbetrieb unerlässlich. Das gilt auch für Grünstrom. Voraussetzung für die gesicherte Stromversorgung sind Überkapazitäten für die Grünstromernte. Ein weiterer Ausbau von Wind- und Solaranlagen wird dringend benötigt.

Alle Möglichkeiten zur Speicherung von Grünstrom sollten jedoch genutzt werden, solange sie wirtschaftlich realisierbar sind. Beim Einsatz von Wasserstoff als Speichermedium gibt der bereits erwähnte hohe Energieaufwand zu denken. Die nachgeschaltete Brennstoffzelle liefert nur etwa 20 % des insgesamt eingesetzten Grünstroms wieder ins Netz. Außerdem werden für die Energiespeicherung mit Wasserstoff dreimal größere Speichervolumen benötigt als für Erdgas. Die Installations- und Betriebskosten der neu zu schaffenden Infrastruktur dürften erheblich sein.

Anstatt sich weiter in die Energiespeicherung mit Wasserstoff zu vertiefen sollten zuerst einmal alle bestehenden Stromspeicher neu programmiert werden. Mit dem Wegfall von thermischen Kraftwerken können die für die Speicherung von Nachtstrom installierten Anlagen auf den Einsatz von grünem Spitzenstrom umprogrammiert werden. Dies betrifft Nachtspeicherheizungen, Pumpspeicher, Boiler, industrielle Prozesse und neuerdings auch Elektrofahrzeuge. Das Kommando zur Speicherbeladung sollte vom Stromanbieter kommen und dem schwankenden Angebot von Grünstrom folgen. Mit organisatorischen Massnahmen kann die kurzfristige Stromversorgung auch ohne Wasserstoff gesichert werden. Für die saisonale Versorgung bietet sich die Speicherung von Biometan an. Das im Sommer erzeugte Biogas

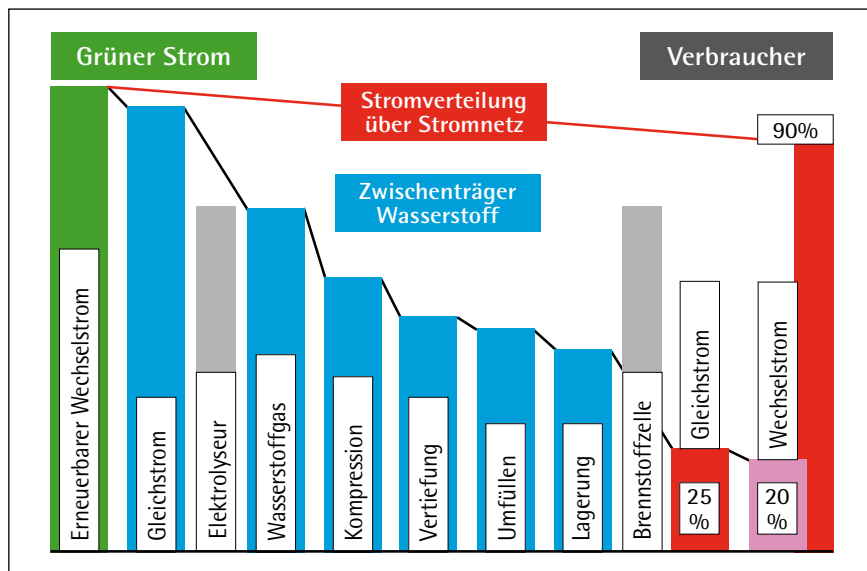


Bild 3: Energiekaskade für Wasserstoff im Vergleich zur direkten Stromlieferung

sollte für die Stromerzeugung im Winter oder bei „Dunkelflauten“ gespeichert werden. Im Sommer Biogas zu verstromen und gleichzeitig mit überschüssigem Grünstrom Wasserstoff für den Winter zu erzeugen ergibt wirklich keinen Sinn.

Noch wenig diskutiert ist die thermische Speicherung überschüssiger Grünstromenergie in größeren saisonalen Wärmespeichern. Solche Anlagen gibt es bereits für die Speicherung von Solarwärme. Mit wenig Aufwand könnten diese mit Elektroheizern bestückt werden, mit denen überschüssiger Windstrom sinnvoll „entsorgt“ wird. Auch kleine Strommengen lassen sich problemlos thermisch speichern. Zur Erzeugung von Wasserstoff müssen die Elektrolyseure jedoch mit konstanter Stromzufuhr betrieben werden.

Alternative Möglichkeiten zur nachhaltigen Gestaltung des Energiesystems sollten sorgfältig geprüft werden, bevor viel Zeit, Mittel und Intelligenz für die Energiespeicherung mit Wasserstoff verwendet wird. Die hier angedachten Möglichkeiten führen zu kostengünstigen Lösungen und werden sich am Markt zuerst durchsetzen.

### Kein Grund zur Panik

Was kann der Politik für die Verwirklichung der Energiewende geraten werden? Zuerst einmal sollte die Konzentration auf das Ziel „Energiewende“ gelegt und der Gesamtkomplex betrachtet werden. Wasserstoff kann allenfalls ein Teil davon sein. Mit einer nicht zu Ende gedachten Wasserstoffinitiative, mit Projekten zur Wasserstoffproduktion in sonnenreichen Regionen und mit Mitteln zur Optimierung bekannter Verfahren und Systemen rund um Wasserstoff werden viele Weichen überhastet gestellt.

Weshalb sollte norwegisches Erdgas mit unerprobter Verklappung des abgeschiedenen CO<sub>2</sub> in Wasserstoff verwandelt werden, der in Deutschland eigentlich nicht benötigt wird, da das Erdgas über bestehende Leitungen auch direkt ins Netz hätte eingespeist werden können? Nach Putins Lieferstopp ist eine gewisse Nervosität spürbar. Mangellagen sind aber auch nützlich, denn sie zwingen zum Nachdenken und führen zu kreativen Lösungen.

### Empfehlungen an die Politik

Bei umfassender Betrachtung erfordert die Energiewende viele technische Veränderungen im Endbereich der Energienutzung, die unabhängig vom Energietransport vom Grünstrom zum Endverbraucher gelöst werden müssen. Hierzu zählen der Bau von energieautarken Gebäuden und die energetische Gebäudesanierung vor dem Ersatz des Heizkessels durch den Einbau elektrischer Wärmepumpen. Im Verkehrsbereich vollzieht sich gerade der Übergang zu batterieelektrischen Antrieben. Auch bei der Stromernte von Wind und Sonne kann nichts falsch gemacht werden. Mit einem rasanten Ausbau der Erzeugungsanlagen wird ein gelegentliches Überangebot von Grünstrom geschaffen, das zu innovativen Lösungen im Endbereich führen wird. Die Energiewende muss von unten nach oben gestaltet werden. Grünstrom wird dezentral geerntet und genutzt. Der hastige Ausbau der überregionalen Stromnetze könnte sich deshalb als Fehlinvestition erweisen. Lediglich die sogenannten Stromautobahnen für den Transport des offshore geernteten Windstroms ins Inland werden notwendig sein. In der jetzigen Phase der Energiewende sollten wir „die Rosse springen lassen“. Nicht alles ist planbar,

aber mit schlecht durchdachten Maßnahmen und gesetzlichen Einschränkungen werden innovative Lösungen unnötig erschwert.

### Erkenntnisse

Unter Berücksichtigung aller physikalischen Prozesse einer Wasserstoffwirtschaft und der damit verbundenen Kosten entsteht ein für die Wasserstofflobby sicherlich nicht erfreuliches Gesamtbild. Weil im Endbereich fast alles mit dem direkt gelieferten Grünstrom kostengünstiger und effizienter erledigt werden kann, schwindet die Notwendigkeit für einen parallelen Energietransport mit Wasserstoff. Der Wandlungsprozess gleicht dem Wettlauf zwischen Hase und Igel in Grimms Märchensammlung. Immer wenn der Wasserstoff-Hase das Ziel erreicht hat, wird er vom Grünstrom-Igel (oder seiner Frau) freudig begrüßt. Wasserstoff kann nie zu einem tragenden Baustein der Energiewende werden, weil er im Endbereich der Energienutzung immer wirtschaftlich im Wettbewerb mit dem Grünstrom steht, mit dem er selbst hergestellt wurde. Der direkte elektrische Weg ist mit wenigen Ausnahmen immer die bessere Lösung. Die Industrie benötigt jedoch große Mengen Wasserstoff. Für die Dekarbonisierung von chemischen Prozessen ist grüner Wasserstoff sinnvoll. Fast alle zu Lande benötigten Energiedienstleistungen können mit Grünstrom direkt bedient werden. Für den Fernverkehr zu Luft und zu Wasser können mit grünem Wasserstoff hergestellte synthetische Kraftstoffe genutzt werden.

Für die Gestaltung der Energiewende ist Wasserstoff keine Wunderwaffe, sondern eher eine Blendgranate, die mit grellem Schein detoniert, aber nur wenig bewirkt. Die Zukunft gehört einer schlanken und effizienten, auf Grünstrom basierenden Elektronenwirtschaft. Die Politik sollte dies möglichst schnell zur Kenntnis nehmen, damit die Energiewende zügig verwirklicht werden kann.

### Fußnote

1) <https://planetforlife.com/pdf/files/h2report.pdf>

### ZUM AUTOR:

► Dr. Ulf Bossel

Oberrohrdorf, Schweiz

ubossel@bluewin.ch