

DIE ERNÜCHTERNDE CO₂-BILANZ VON WASSERSTOFF

FASZINIERENDE TECHNIK VERHINDERT ENERGIE- UND KLIMAWENDE

In vielen Hauptstädten, so auch in Berlin und Brüssel, werden Programme zur Realisierung einer Wasserstoffwirtschaft ohne ausreichende Berücksichtigung von physikalischen Zusammenhängen und technischen Grenzen formuliert. Offensichtlich hat der von Wasserstoffbefürwortern verbreitete Hype auch die politischen Kreise erreicht.

Eine Technik, die Faszination weckt

Der Autor kennt die Faszination der Idee, Wasserstoff zum universellen Energieträger zu machen, der alles antreibt, was sich bewegen soll, Gebäude heizt und überall vor Ort bedarfsgerecht Strom erzeugt. Ihn konnte der Braunschweiger Professor Eduard Justi 1976 für eine Wasserstoffwirtschaft begeistern. Eine eigene kritische Analyse der Energiebilanz einer Wasserstoffwirtschaft brachte jedoch ernüchternde Ergebnisse. Eine der Erkenntnisse aus dieser Zeit um die Jahrtausendwende war: Mit dem Strom, der für die gesamte Wasserstoffkette insgesamt benötigt oder dabei verschwendet wird, lässt sich bei einer direkten Verteilung wesentlich mehr machen (Bild 1).

Der Autor analysierte 2002 die Energiebilanz der Wasserstoffkette im Detail und publizierte seine Ergebnisse 2002 in englischer Sprache („The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?“). Die Leibniz Gesellschaft hat 2010 eine gekürzte Fassung dieser Arbeit unter dem Titel „Wasserstoff löst keine Energieprobleme“ im Internet zur Verfügung gestellt¹⁾.

- Welche Antriebssysteme braucht die Energie- und Klimawende? Beispielsweise können vier Elektromobile mit dem Strom betrieben werden, der für die Wasserstoffversorgung eines baugleichen Brennstoffzellenautos benötigt wird. Mit Strom kann viermal weiter als mit Wasserstoff, gefahren werden oder benötigt für 100 km lediglich 18 statt 72 kWh (Bild 2). Die Verhältnisse verschlechtern sich weiter, wenn der Wasserstoff importiert wird.

Mit Strom, der in Deutschland erzeugt wurde, könnten mit 18 kWh 100 km zurückgelegt werden. Mit Wasserstoff, der aus Australien importiert wird, würden für die gleiche Strecke insgesamt 120 kWh benötigt werden. Inzwischen ist auch die Klimaerwärmung durch Kohlenstoffdioxid dazugekommen. Die Ergebnisse einer Erweiterung der damaligen Modellrechnungen sind in Bild 3 veranschaulicht. Das CO₂ wird zum überwiegenden Teil von den Tankschiffen emittiert, die nicht mit sauberem Wasserstoff angetrieben werden können, weil die transportierte H₂-Liefermenge gerade für Hin- und Rückfahrt reichen würde. Die Verwirklichung der Energie- und Klimawende ist mit einer Wasserstoffwirtschaft nicht möglich.

Wasserstoff: Ein Energieträger

Wasserstoff ist bekanntlich keine Energiequelle, sondern ein künstlich mit Hilfe von Strom aus Wasser hergestellter Energieträger. Der vorwiegend von Sonne, Wind & Co. geerntete grüne Strom soll in Form von Wasserstoff verteilt und im Endbereich der Energienutzung wieder

in Strom zurück verwandelt, beziehungsweise thermisch und chemisch genutzt werden. Er kann auch als Medium zur Energiespeicherung dienen. Die technischen Möglichkeiten sind vielfältig und faszinierend. Im Vergleich zu Erdgas bietet er klimafreundlichere Optionen für fast alle Sektoren der Energienutzung. Das motiviert nicht nur heranwachsende Ingenieure immer von neuem. Nach einigen Jahren der Begeisterung folgt jedoch die Ernüchterung. Bei der Beschäftigung mit den energetischen Aspekten einer Wasserstoffwirtschaft, wird schnell klar, dass sich die Energiezukunft nicht mit Wasserstoff gestalten lässt, denn Wasserstoff ist keine „unendliche“ Energiequelle, sondern lediglich ein Energieträger. Etwas überspitzt formuliert, kann gesagt werden, dass die Umwandlung von grünem Strom in das Transportmittel Wasserstoff genauso wenig zur Energieversorgung beiträgt, wie eine Verteilung von Eimern für die Wasserversorgung in der Sahelzone.

Es ist nicht die erste Euphoriewelle

Die technische Basis für eine Wasserstoffwirtschaft ist seit Jahrzehnten be-

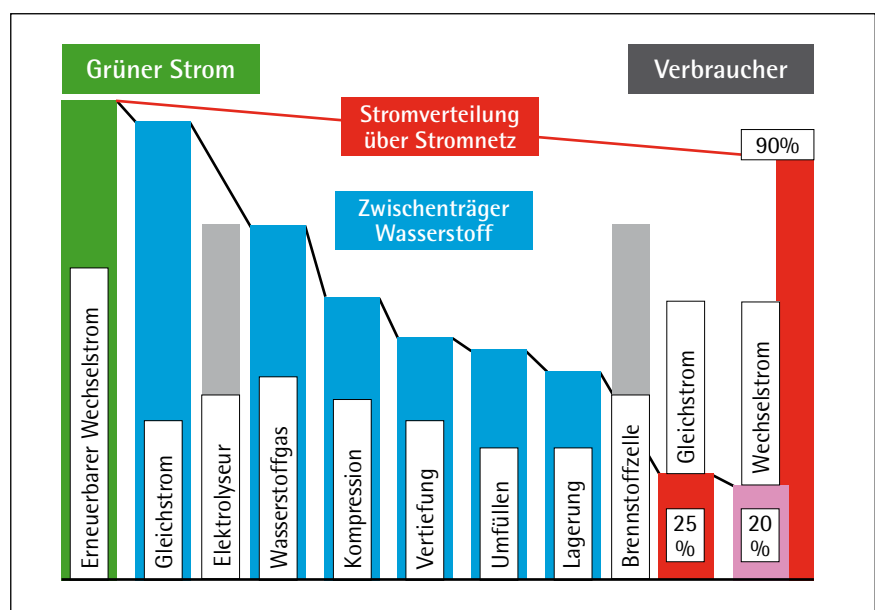


Bild 1: Energiekaskade für Wasserstoff im Vergleich zur direkten Stromlieferung

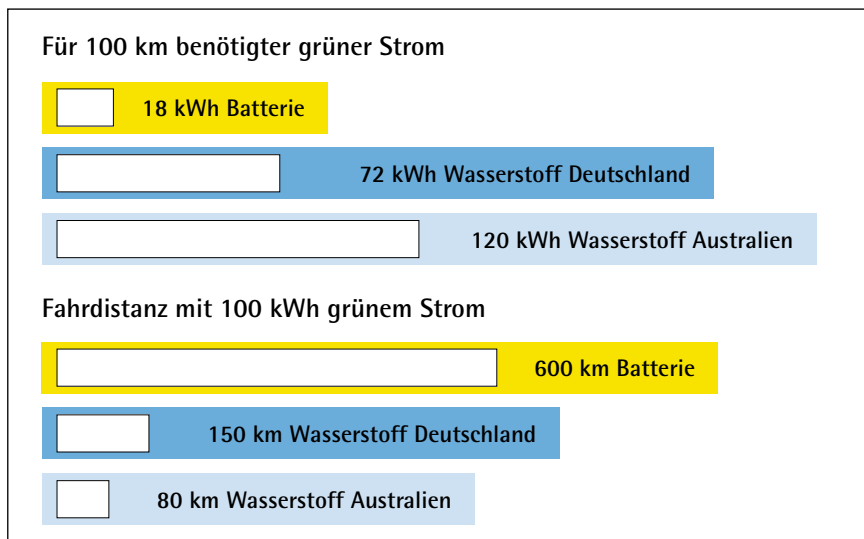


Bild 2: Für 100 km Fahrtstrecke benötigter grüner Strom. Ein Batterieauto benötigt wesentlich weniger Energie oder fährt viel weiter als ein vergleichbares Fahrzeug mit Wasserstoff und Brennstoffzelle.

kannt. Dabei scheint die Begeisterung für Wasserstoff einem Zyklus von etwa 20 Jahren zu folgen, mit vier solcher Wellen zwischen 1960 und 2020. Vermutlich in Verbindung mit dem Lernprozess nachwachsender Generationen: Nach etwa zehn Jahren erkennt der anfangs faszinierte Einsteiger, dass sich die Energieversorgung nicht mit Wasserstoff sichern lässt; darauf folgen weitere zehn Jahre, bis diese Erkenntnisse wieder vergessen sind.

Anders lassen sich die Euphoriewellen nicht erklären, denn der fundamentale Energieerhaltungssatz behält auch für den künstlich hergestellten Energieträger ewige Gültigkeit. Für die Herstellung von Wasserstoff wird viel mehr Energie benötigt als jemals wieder zurückgewonnen werden kann, gleich wie es gemacht wird. Erdgas, das mit vertretbarem Energieaufwand gefördert, gereinigt und verteilt werden kann, ist eine natürliche Energiequelle, also ein positiver Posten in der Energiebilanz. Der künstlich hergestellte Wasserstoff steht aber immer in der negativen Spalte. Mit Wasserstoff

lässt sich das Energieproblem nicht lösen, auch wenn die Farbe Grün eine gute Klimabilanz verspricht.

Vermutlich fehlt diese Erkenntnis oft und vor allem bei der politischen Diskussion, die mit der Verknüpfung von technischen Lösungen begeistert, aber energetische Zusammenhänge nicht umfassend würdigt. Wasserstoff wird vereinfacht als Gas betrachtet, das wie Erdgas komprimiert oder verflüssigt, in Pipelines, Tanklastwagen oder Tankschiffen transportiert, in Tanks oder Kavernen gelagert und problemlos verteilt und genutzt werden kann. Die physikalisch bedingten Unterschiede werden nicht wahrgenommen. Wasserstoffmoleküle mit einem Molekulargewicht von zwei verhalten sich ganz anders als die achtmal schwereren Erdgasmoleküle. Deshalb unterscheiden sich Energiebilanzen „von der Wiege bis zur Bahre“ von Wasserstoff und Erdgas erheblich. In der allgemeinen Diskussion werden in der Regel nur technische Details der Wasserstoffwirtschaft dargestellt. Unbewusst, oft aber auch bewusst unbewusst, wird auf Präsen-

tion einer Energiebilanz und auf eine Diskussion der energetischen Fakten und die sich daraus ergebenden Konsequenzen verzichtet.

Es folgen Beispiele, die grobenteils aus der Analyse „Wasserstoff löst keine Energieprobleme“ stammen. Ein Liter verflüssigtes Erdgas hat einen Energieinhalt von 13,7 kWh. Im gleichen Volumen haben aber nur 2,36 kWh Flüssigwasserstoff Platz. Für die Verflüssigung von 1 kg Erdgas bei minus 104°C werden 10 bis 20%, für die Verflüssigung von 1 kg Wasserstoff bei minus 253°C jedoch 30 bis 40% des jeweiligen Brennwertes benötigt. Es wird die hohe gewichtsbezogene Energiedichte von Wasserstoff angepriesen und vergessen, dass ein Kilogramm Wasserstoff unter Normalbedingungen 11 m³ Raum benötigt. Bei Erdgas sind es lediglich 2,5 m³. Bei gleichem Druck lässt sich in einem Tank 4,3-mal mehr Energie mit Erdgas als mit Wasserstoff speichern. Der Energietransport in Pipelines erfordert für Wasserstoff 1,4-mal mehr Energie als für Erdgas. Der Energiebedarf für die Kompression von Wasserstoff ist achtmal größer als für Erdgas. Ein mit Benzin gefüllter Tanklastwagen liefert gleichviel Energie wie 20 Wasserstofflasten, von denen jeder bei 40 Tonnen Gesamtgewicht gerade einmal 250 kg Wasserstoff bei 250 bar transportieren kann. Inzwischen wird Wasserstoff mit 900 bar transportiert. Die ersparte Transportenergie entspricht etwa dem Mehraufwand für die Kompression. Für eine Verteilung von Ökostrom aus Deutschland mit Wasserstoff müssen viermal mehr Windkraft- oder Solaranlagen gebaut werden als bei einer direkten Nutzung der geernteten Elektrizität. Bei Wasserstoff aus Australien liegt der Faktor bei fast sieben. (Bild 2). Diese Beispiele verdeutlichen, dass Wasserstoff kein guter Energieträger ist.

In der auf technische und wirtschaftliche Machbarkeit gerichteten Diskussion wird Wasserstoff in fahrlässiger Vereinfachung als Gas betrachtet, das Erdgas ersetzt. Es wird von einer Nutzung des bestehenden Gasnetzes gesprochen und vergessen, dass hierfür nicht nur Elektrolysestationen, sondern auch Kompressoren, Verflüssigungsanlagen, Pipelines, Speicherbehälter, Ventile, Mess- und Regeltechnik, sowie andere Gasbrenner benötigt werden. Die bestehenden Erdgasnetze und die installierte Technik müssen grundlegend überarbeitet werden. Das kostet nicht nur viel Geld und vor allem viel Zeit, die wir angesichts der drohenden Klimakatastrophe nicht mehr haben. Ein riesiger und völlig unnötiger Aufwand mit Verpflichtungen für kommende Generationen. Für die Lieferung des in Deutschland geernteten grünen

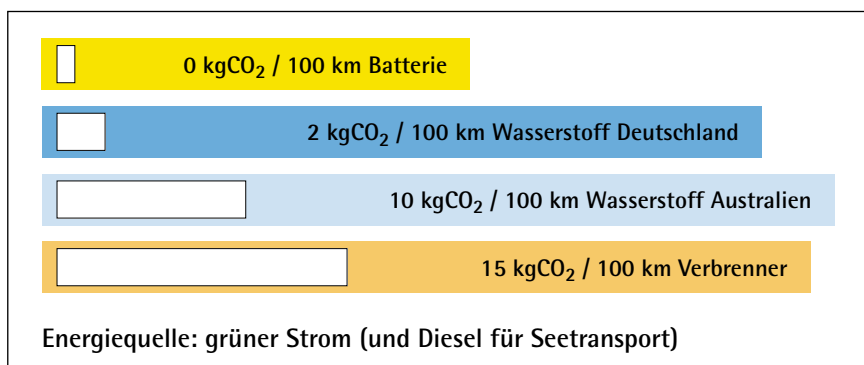


Bild 3: CO₂-Emissionen für unterschiedliche Antriebssysteme. Auch in einer Wasserstoffwirtschaft muss der Transportbedarf weitgehend mit fossilen Kraftstoffen erfolgen

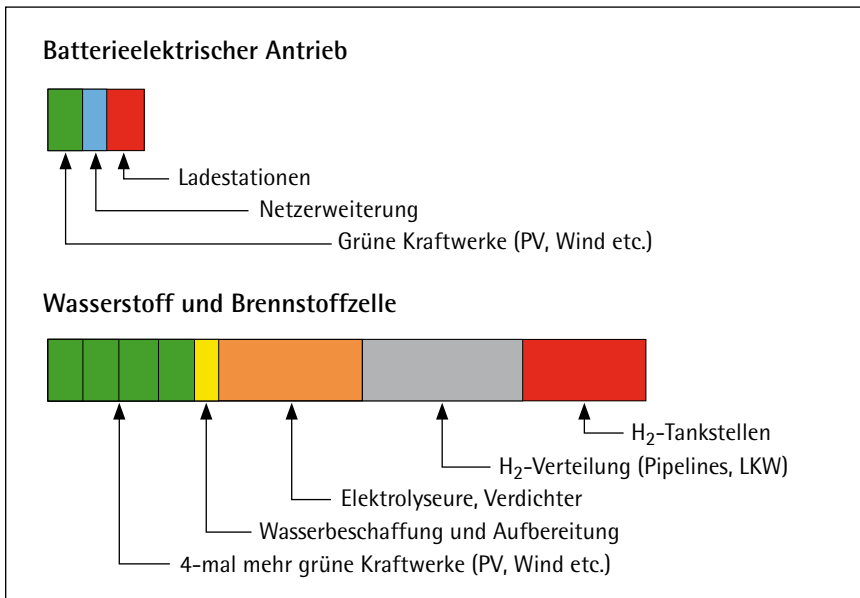


Bild 4: Spezifische Investitionen für in Deutschland hergestellten grünen Strom. Vergleich von direkter Stromlieferung mit indirekter Lieferung als Wasserstoff für vergleichbare Straßenfahrzeuge

Stroms besteht ein ausgebautes Netz. Mit geringen organisatorischen Veränderungen und einigen technischen Anpassungen kann der Verkehr kostengünstig mit Strom versorgt werden. Eine für alle Zeiten optimierte „Elektronenwirtschaft“ ist wesentlich schneller zu schaffen als der Umstieg auf einen neuen Energieträger (Bild 4). Die Darstellung lässt erahnen, weshalb der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft so große Zustimmung findet. Es gibt viel zu tun für Forschung, Entwicklung und Industrie - und der Staat bezahlt. Während die Umstellung auf Wasserstoff ein Generationenprojekt ist, kann der elektrische Weg in wenigen Jahren abgeschlossen werden, also noch rechtzeitig zur Verhinderung einer Klimakatastrophe.

Ein Blick auf den geplanten Import von Wasserstoff

Offenbar haben Berlin und Brüssel erkannt, dass eine Wasserstoffwirtschaft mehr Energie verschlingt als hierzulande geerntet werden kann. Deshalb wird jetzt die Gewinnung von Wasserstoff in sonnenreichen Gegenden ins Spiel gebracht. Die mit Australien unterzeichnete Absichtserklärung lässt vermuten, dass weder die Energiebilanz noch die Klimabilanz des Vorhabens geprüft wurden. Die Fakten sind, höflich gesagt, ernüchternd. Der größte Flüssiggastanker der Welt „Mozah“ kann 266.000 m³ oder etwa 120.000 Tonnen Flüssiggas laden. Mit flüssigem Wasserstoff gefüllt beträgt die Nutzlast lediglich 18.600 Tonnen. Für die Rundreise von Hamburg nach Brisbane und zurück (28.000 km) werden etwa 35.000 Tonnen Dieselmotorkraftstoff (tatsäch-

lich dreckiges Bunkeröl) benötigt. Die in Hamburg mit dem flüssigen Wasserstoff angelandete Energiemenge ist nur etwa doppelt so groß wie die benötigte Transportenergie. Ein Betrieb solcher Tanker mit Wasserstoff wäre kaum möglich, weil die zweite Hälfte der Ladung für die Rückfahrt des Tankers nach Brisbane benötigt würde. Der CO₂-Ausstoß des Tankers ist immens. Durch Umstellung auf Wasserstoffautos könnten die globalen CO₂-Emissionen nur unwesentlich verringert werden. Mit Wasserstoff im Straßenverkehr wird die Luft auch nur etwas sauberer. Die Gesamtenergiebilanz verschlechtert sich weiter. Um eine Energieeinheit auf deutsche Straßen zu bringen, werden für australischen Wasserstoff etwa sieben Energieeinheiten benötigt: Wasser-Beschaffung (problematisch in sonnenreichen Gegenden) und Aufbereitung (9 kg Wasser je kg Wasserstoff), Elektrolyse, Betrieb der Solaranlage, Kompression und Beförderung bis zur Verflüssigungsanlage, Verflüssigung, Landtransport des Flüssigwasserstoffs bei minus 253°C zum Tankschiff, Umfüllung, Seetransport nach Hamburg mit kontinuierlicher Nachkühlung, Abladen in Hamburg, Verteilung über Straße, Bahn oder Pipelines, Umfüllen in die 30-bar Tanks der Wasserstofftankstellen, Kompression auf 900 bar für Befüllung von Fahrzeugen, sowie dem notwendigen Strombedarf für den Betrieb der gesamten Lieferkette. Mit der H₂-Ladung eines einzigen Supertankers können etwa 87.000 mit Brennstoffzellen ausgestattete Fahrzeuge 20.000 km pro Jahr zurücklegen. Für den Betrieb aller deutschen Personenwagen mit austra-

lischem Wasserstoff müssten etwa 450 Tankschiffe ständig zwischen Hamburg und Australien unterwegs sein.

Lokale Energiewende als Lösung anstelle einer teuren Sackgasse

Die Energiewende könnte so einfach und klimaschonend mit lokal geerntetem Strom, hoher Effizienz und kleinen Veränderungen der bestehenden Stromverteilung gestaltet werden. Mit einer Wasserstoffwirtschaft wird die dringend notwendige Energie- und Klimawende nicht zu verwirklichen sein. Wir haben Energie- und Umweltprobleme, die sofort gelöst werden müssen. Deshalb braucht es keine wissenschaftliche Auffrischung von Altbekanntem, und vor allem gilt es, Fehlinvestitionen in eine Technologie zu vermeiden, die schon bald als Sackgasse erkennbar sein wird. Alle wesentlichen Kenntnisse und Verfahren für die Schaffung einer „Elektronenwirtschaft“ sind vorhanden. Nur fehlt der politische Wille zum pragmatischen Einstieg in die Zukunft. Weshalb so kompliziert, wenn es auch einfach geht?

Fußnote

1) www.leibniz-institut.de/archiv/bos-sel_16_12_10.pdf

ZUM AUTOR:

► Ulf Bossel

PhD. (UC Berkeley), Dipl. Masch. Ing. (ETH Zürich) Oberrohrdorf / Schweiz
ubossel@bluewin.ch

Ulf Bossel war 1975 Mitbegründer der DGS und deren 1. Vorsitzender bzw. Präsident von 1976 bis 1978.

Eine kurze Biographie, die seinen Einsatz für die DGS und seine wissenschaftliche Lebensleistung würdigt ist hier bei Wikipedia zu finden¹⁾:

Ulf Bossel gilt als ausgewiesener Brennstoffzellenexperte und Kritiker der Wasserstoffwirtschaft. Die mehrfache Transformation der Energie (Elektrolyse und Brennstoffzelle), sowie Speicherung und Transport, Umwandlungsverluste sprechen nach Meinung von Bossel gegen Wasserstoff als Energieträger. Der aus Strom gewonnene Wasserstoff werde „deshalb immer teurer sein als die regenerativ erzeugte Elektrizität“.

Siehe auch: G. Stadermann, Das Notwendige möglich machen, Die solare Forschungswende in Deutschland, Springer Fachmedien 2021, S. 469 f.

1) https://de.wikipedia.org/wiki/Ulf_Bossel