

# **Wasserstoff als Speicher für Überschuss-Strom aus Wind und Sonne – Machbar und sinnvoll oder Hirngespinnst? – Original-Fassung**

## **LFA10 – Dezember 2023**

Ein stabiles Stromnetz ist für eine Industrienation eine der elementaren Voraussetzungen für eine funktionierende und effizient arbeitende Wirtschaft, den Verkehr, das Finanzwesen, die Kommunikation und letztendlich die innere Sicherheit.

Elektrische Energie aus Wind oder Sonne lässt sich nicht planen und dem Bedarf folgend erzeugen. Nur wenn man Strom zur Verfügung stellen kann, wie ihn der augenblickliche Bedarf erfordert, kann man ein stabiles Netz aufrechterhalten. Speicherung vorher und Freigabe bei Bedarf wäre eine Lösung.

Elektrische Energie zu speichern ist eine große ungelöste Herausforderung. Aus Wind und Sonne erzeugte elektrische Energie ist ständig schwankend. Eine Zwischenspeicherung über Wasserstoff soll es ermöglichen, ihr eine dem konventionell erzeugten Strom vergleichbare Qualität zu verleihen.

Neben Batteriespeichern wird die Nutzung von Wasserstoff als chemischer Speicher für Elektrizität propagiert. Darüber hinaus ist Wasserstoff auch zur direkten und ständigen Nutzung vorgesehen. Er soll fossile Treibstoffe (wie Benzin und Diesel) ersetzen und entsprechend Autos, Züge und sogar Flugzeuge antreiben sowie Wohnungen heizen.

Dieses Positionspaper setzt sich mit dieser Idee auseinander, um zu klären, inwieweit diese Technologie geeignet und sinnvoll ist.

### **Kurzzusammenfassung**

Wasserstoff aus Wind- oder Solarenergie wird zurzeit als der Königsweg zu sauberer, sicherer und CO<sub>2</sub> neutraler Energieversorgung präsentiert.

Gewaltige Umwandlungsverluste, die sich aus physikalischen Gründen nicht vermeiden lassen, verhindern jede Wirtschaftlichkeit, auch in der Zukunft. So benötigt man z.B. für die Verwendung von Wasserstoff als Speicher die 5 bis 7-fache Fläche an Solarmodulen im Vergleich zur Verwendung von Batteriespeichern, um die zusätzlich erforderliche elektrische Energie zu erzeugen.

Andere bekannte und mit überschaubarem Aufwand entwickelbare Technologien bieten deutlich mehr Potential. (z.B. neue Kernreakortypen)

Eine weitere Subventionierung der Entwicklung einer Wasserstoffenergiewirtschaft wird großen wirtschaftlichen Schaden anrichten, da sie Gelder in eine absehbar aussichtslose Technologie steckt, die dann zur Entwicklung realistischer Alternativen fehlen.

### **Hintergrund**

Für diese Betrachtung werden die erforderlichen Energieströme folgender Stromerzeugungskonzepte verglichen. Es wird der Aufwand dargestellt, der jeweils erforderlich ist, um eine Kilowattstunde (kWh) zum Verbraucher zu bringen:

## 1) Wasserstoff

Um solar erzeugte elektrische Energie über das Speichermedium Wasserstoff zum Verbraucher zu bringen, sind folgende Übertragungs- und Umwandschritte erforderlich:

Solarzelle → Stromnetz → Umwandlung in Gleichstrom → Wasserstoffherzeugung → H<sub>2</sub>-Speicherung und Verteilung → Rückumwandlung in Gleichstrom → Umwandlung in Wechselstrom → Netz → Verbraucher.

Diese Umwandlungen, die Speicherung und die Übertragung sind mit Verlusten behaftet, die dazu führen, dass pro Kilowattstunde (kWh), die beim Verbraucher ankommt, etwa 6 bis 10 kWh erzeugt werden müssen.

Die reinen Kosten (ohne Rücklagen, ohne Gewinne, ohne Steuern) einer so erzeugten Kilowattstunde liegen bei etwa 0,60 €/kWh. Der Endverbraucherpreis läge deutlich höher.

Die Installationskosten der genannten Einrichtungen betragen über 20.000 € pro Kilowatt installierter Leistung. Für einen typischen Haushaltsanschluss mit ca. 15 kW sind Investitionen in Höhe von 300.000 € nötig.

Diese Betrachtung beruht auf folgender Voraussetzung:

Großtechnische Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse nach heutigem Stand der Technik in zentralen Anlagen, die gleichmäßig mit Vollast laufen.

Um sicherzustellen, dass nur überschüssiger und nur „grüner“ Strom verwendet wird, müssten diese Anlagen jedoch häufig anfahren und abfahren und mit variabler Leistung betrieben werden. Dadurch würden sich die Produktionskosten drastisch erhöhen, da die Anlagen weit weniger Wasserstoff produzieren als sie entsprechend ihrer Kapazität und entsprechender Investition könnten, z.B. nachts müssten sie weitestgehend stillstehen. Zweitens verbrauchen sich die an der Elektrolyse beteiligten Anlagenkomponenten deutlich schneller, wodurch sich die Betriebskosten gegen über Vollastbetrieb deutlich erhöhen. Es wird deutlich weniger produziert zu höheren Kosten als bei einem gleichmäßigen Betrieb bei hoher Last. Man könnte versuchen, die Schwankungen durch Batteriespeicher auszugleichen, jedoch ist auch das mit erheblichen Zusatzkosten verbunden.

Wenn Solarstrom so gleichmäßig zur Verfügung stünde, wie es für Elektrolyseanlagen benötigt wird, dann wäre dieser Strom direkt zur Netzeinspeisung geeignet, Umwandlung in Wasserstoff wäre überflüssig.

Da die Voraussetzungen für eine gleichbleibende, großtechnische Wasserstoffproduktion nicht bestehen, ist davon auszugehen, dass die genannten laufenden Kosten pro Kilowattstunde und auch für die Investitionen noch deutlich höher ausfallen als die genannten Werte.

## 2) Batteriespeicher

Um solar erzeugte elektrische Energie in Batterien zu speichern und von dort nach Bedarf ins Netz einzuspeisen, sind folgende Übertragungs- und Umwandschritte erforderlich:

Solarzelle → Umwandlung in Wechselstrom → Stromnetz → Umwandlung in Gleichstrom → Batteriespeicher → Rückumwandlung in Wechselstrom → Netz → Verbraucher.

Diese Umwandlungen, die Speicherung und Übertragung sind mit Verlusten behaftet, die dazu führen, dass pro Kilowattstunde (kWh), die beim Verbraucher ankommt, etwa 1,4 kWh erzeugt werden müssen.

Die reinen Kosten (ohne Rücklagen, ohne Gewinne, ohne Steuern) einer so erzeugten Kilowattstunde liegen bei etwa 0,30 €/kWh. Der Endverbraucherpreis läge deutlich höher.

Die Installationskosten der genannten Einrichtungen betragen etwa 7.500 € pro Kilowatt installierter Leistung. Für einen typischen Haushaltsanschluss mit ca. 15 kW bedeutet dies Investitionen in Höhe von 112.500 €.

### 3) Kohlekraftwerk

Kohlebergbau → Kraftwerk → Netz → Verbraucher.

Aufgrund von Verlusten bei der Erzeugung (Aufwand für Kohlegewinnung, Transport, Eigenbedarf des Kraftwerks) muss pro Kilowattstunde (kWh), die beim Verbraucher ankommt, etwa 1,2 kWh erzeugt werden.

Die reinen Kosten (ohne Rücklagen, ohne Gewinne, ohne Steuern) einer so erzeugten Kilowattstunde liegen bei etwa 0,12 €/kWh.

Die Installationskosten für Kohlegewinnung, Transportinfrastruktur, Kraftwerk und Netz betragen etwa 3.000 € pro Kilowatt installierter Leistung. Für einen typischen Haushaltsanschluss mit ca. 15 kW bedeutet dies Investitionen in Höhe von 45.000 €.

### 4) Kernenergie

Uranbergbau → Brennelemente Herstellung einschließlich Wiederaufbereitung bzw. Endlager → Kernkraftwerk → Netz.

Aufgrund von Verlusten bei der Erzeugung (Aufwand für Urangewinnung, Brennelementherstellung, Transport, Wiederaufbereitung, bzw. Endlagerung, Eigenbedarf des Kraftwerks) muss pro Kilowattstunde (kWh), die beim Verbraucher ankommt, etwa 1,2 kWh erzeugt werden.

Die reinen Kosten (ohne Rücklagen, ohne Gewinne, ohne Steuern) einer so erzeugten Kilowattstunde liegen bei etwa 0,08 €/kWh.

Die Installationskosten einschließlich aller Einrichtungen des Brennelementekreislaufs betragen etwa 5.000 € pro Kilowatt installierter Leistung. Für einen typischen Haushaltsanschluss mit ca. 15 kW bedeutet dies Investitionen in Höhe von 75.000 €.

Hier nochmal eine Aufstellung der Zahlen im direkten Vergleich, zusätzlich mit Werten für ein modernes Gaskraftwerk und ein Kraftwerk auf Basis einer Kolbendampfmaschine um 1900:

	kWh erzeugt/ kWh beim Verbraucher	Kosten pro kWh	Investition / 15 kW Hausanschluss
Strom aus „grünem“ Wasserstoff	6 -10 kWh	0,60 €/kWh	300.000 €
Solarstrom mit Batteriespeicher	1,4 kWh	0,30 €/kWh	112.500 €
Kohlekraftwerk	1,2 kWh	0,12 €/kWh	45.000 €
Kernkraftwerk	1,2 kWh	0,08 €/kWh	75.000 €
Gaskraftwerk	1,1 kWh	0,25 €/kWh	22,500 €
Dampfmaschine, 1900	~1,3 kWh	~0,15 €/kWh	~37.500 €

Für alle Fälle gilt, dass ein Teil der benötigten Infrastruktur bereits vorhanden ist, im Wesentlichen das Stromnetz. Wegen der dezentralen Natur eines Stromnetzes mit einem großen Anteil der sogenannten erneuerbaren Energien, ist ein dafür geeignetes Stromnetz mit deutlich größeren Investitionen verbunden. Im Vergleich zu den Aufwendungen für Erzeugungsanlagen (Kraftwerke, Solaranlagen) und Umwandlungsanlagen (Elektrolysewerke, Wasserstoffspeicher, Batteriespeicher, Brennstoffzellen usw.) fallen die Kosten des Netzes jedoch nicht ins Gewicht.

Um für die Wasserstoffvariante die Anzahl benötigter Kilowattstunden pro beim Verbraucher nutzbarer Kilowattstunde auf unter zwei zu reduzieren, müssten sowohl Elektrolyse, Verdichtung und Speicherung als auch die Rückverstromung mit Wirkungsgraden von über 90% stattfinden.

Heutige Wirkungsgrade betragen ungefähr:

Elektrolyse: 50 – 60 % (nur bei konstantem Betrieb der Anlage mit hohen Leistungen),

Verdichtung, Speicherung und Transport: 60 %,

Rückverstromung: 40 – 60%.

### **Beispiel:**

Jährliches Energiebudget eines vier-Personen-Haushalts:

Jahresbudgets (grobe Schätzungen)	Konventionell		Wasserstoffbasiert
Heizung	Erdgas	1200 €	7500 €
Elektrische Energie	Kohle/KK/Gas	1200 €	6000 €
Transport (PKW, 20Tkm)	Diesel	2000 €	5000 €
Energiekosten in Gütern (Lebensmittel, Kleidung, Möbel etc.)		8000 €	30.000 €
		12.400 €	48.500 €

Auch wenn es sich hier nur um grobe Schätzungen handelt, sieht man deutlich, welche Auswirkungen auf das Haushaltsbudget sich ergeben, insbesondere, wenn man bedenkt, dass das

durchschnittliche Nettoeinkommen etwa 45.000 € beträgt. Dieser Durchschnittswert bedeutet auch, dass mehr als die Hälfte aller Haushalte über ein Einkommen unterhalb dieses Durchschnittswertes verfügt. Es wird außerdem deutlich, dass selbst ein vollständiger Verzicht auf Mobilität und Heizung, zu keiner annähernd akzeptablen finanziellen Situation führt. Bei unterdurchschnittlichen Einkommen muss davon ausgegangen werden, dass es zu schweren Notlagen kommt, bis hin zu Obdachlosigkeit und sogar Hunger.

## Das Problem

Vergleicht man Gaskraftwerke mit Kernkraftwerken oder Kohlekraftwerken, dann fällt auf, dass hohe Investitionskosten zu niedrigen Kosten pro Kilowattstunde führen. Das liegt daran, dass die Verwendung eines günstigen Brennstoffs (Kohle, Uran) einen deutlich größeren technischen Aufwand erfordert im Vergleich zu einer Anlage, die einen höherwertigen und damit teureren Brennstoff (z.B. Erdgas) verwendet.

Dieser Effekt sollte sich eigentlich bei sogenannten erneuerbaren Energien noch viel deutlicher zeigen, denn dafür wird überhaupt kein Brennstoff benötigt. Das Gegenteil ist jedoch der Fall, insbesondere bei der Wasserstoff-Variante, da die Investitionskosten so exorbitant hoch sind, dass bei ihr selbst ohne jegliche Kosten für Primärenergie kein annähernd wettbewerbsfähiger Strompreis erreichbar ist.

Zusätzlich zu diesen rein wirtschaftlichen Tatsachen kommen weitere technisch/ physikalische Gegebenheiten, die einer Verwirklichung einer für die Energieversorgung relevanten wasserstoffbasierten Energiewirtschaft entgegenstehen. Denn bei Lagerung, Transport, Wasserverbrauch und Sicherheit gibt es jeweils entscheidende Hindernisse, die sich aus den physikalischen Eigenschaften des Wasserstoffs ergeben.

Wasserstoff wird unter atmosphärischen Bedingungen bei minus 253 Grad Celsius flüssig und bei minus 259 Grad Celsius fest (absoluter Temperaturnullpunkt, praktisch nicht erreichbar: -273 °C). Er ist das leichteste Element mit dem kleinsten Moleküldurchmesser (H<sub>2</sub>). Hier der Energiegehalt von Wasserstoff im Vergleich zu Diesel und Erdgas:

Unterer Heizwert, Hi	kWh/kg	kWh/m <sup>3</sup> atmosphärisch	kWh/l (flüssig)	kWh/l (bei 700 bar)
Wasserstoff	33,3	3	2,36 (-253°C)	0,53
Erdgas	11	10	6 (-162°C)	2,58
Diesel/Heizöl	11,8	10.600	10,6	10,6

Wegen der im flüssigen Zustand größtmöglichen Dichte wäre Verflüssigung von Wasserstoff zur Lagerung im Prinzip eine gute Möglichkeit, um das Lagervolumen (Größe der Tanks) so gering wie möglich zu halten. In den Einzelheiten stellt sich diese Möglichkeit wie folgt dar:

Der Energieaufwand:

- für die Verflüssigung beträgt 30...50 % je nach Menge und Methode,
- 6 % für den Transport zwischen Verflüssigungsstation und Verbraucher (Heizöl 0,2 %),
- 3 % je Tag durch Verdampfungsverluste durch Erwärmung während der Lagerung,
- Verdampfungsverluste beim Umfüllen.

In der Praxis kommen deshalb in der Regel Drucktanks zum Einsatz. Bei Verdichtung auf 700bar werden etwa 12 % des Energiegehalts des Gases verbraucht.

Transport:

Wegen der geringen Molekülgröße diffundiert Wasserstoff durch die meisten Materialien hindurch. Für den Transport von Wasserstoff verwendet man Spezialtankern, für einen leitungsgebundenen Transport wären spezielle Leitungen erforderlich, ähnlich beschichtet wie die Tanks. Die für den Pipeline Transport erforderliche Kompressor-Arbeit ist bei mittleren Übertragungsentfernungen (einige hundert Kilometer) etwa doppelt so hoch wie für Erdgas.

Ein 40 t Benzin-Tankwagen transportiert ebenso viel Energie wie 12 Wasserstoff Druckgas-Tankwagen, ebenfalls mit 40 Tonnen Gesamtgewicht, jedoch nur 700 kg Nutzlast.

Wasserverbrauch:

Zur Herstellung von 1 kg Wasserstoff (33 kWh, entsprechend etwa 3 Liter Diesel) werden 9 kg Reinstwasser benötigt, für dessen Herstellung etwa 25 bis 30 Liter Rohwasser (je nach Rohwasserqualität) benötigt.

Sicherheit:

Wasserstoff ist leicht entzündbar. Ab einem Volumenanteil von 18 % in Luft ist das Gemisch explosiv. Durch Leckagen ins Freie austretender Wasserstoff verflüchtigt sich schnell, so dass es nur unter ungünstigen Umständen zu gefährlichen Konzentrationen kommt. Wasserstoffbrände sind allerdings sehr heiß und die Flamme nahezu unsichtbar.

## **Die Lösung**

Die nicht annähernd vorhandenen Wirtschaftlichkeit und die energetische Unsinnigkeit einer auf Wasserstoff basierenden Energiewirtschaft sind unmittelbar durch die physikalischen Eigenschaften des Wasserstoffs bedingt. Es ist deshalb selbst mit zuversichtlichsten Prognosen über den zu erwartenden technischen Fortschritt keine grundsätzliche Besserung zu erwarten.

Die staatliche Förderung sollte deshalb eingestellt werden. Die Investition in die Entwicklung neuer Kernreakortypen ist deutlich zielführender. Es gibt eine Reihe von Reaktorkonzepten, die noch deutlich sicherer sind als Druckwasserreaktoren der neusten Generation und die deutlich weniger und nur relativ kurzlebige radioaktive Reststoffe hinterlassen. Technologie zur sauberen und effizienten Kohleverstromung gibt es seit mehreren Jahrzehnten.

## **Fazit**

Eine sichere Stromversorgung ist elementare Voraussetzung für jede moderne Zivilisation. Sie darf nicht auf's Spiel gesetzt werden durch massive Ressourcen-Verschwendung in eine Technologie, die schon aus elementaren physikalischen Gründen keine Zukunft hat.

Durch die Begünstigung und Bewerbung von Wasserstoff als „der Lösung“ für alle Energieprobleme und der angeblichen Erderwärmungsproblematik wird eine gewaltige Täuschung auf den Weg gebracht, deren Umsetzung eine dramatische Ressourcenvernichtung zur Folge hat. Mit massiver Förderung aus Steuergeldern wird eine Technologie etabliert, die zu mit Abstand hohen Strompreisen führt.

Die Bürger müssen aktiv darüber aufgeklärt werden, damit sie an der Wahlurne eine Entscheidung über ihre persönliche Zukunft und die ihrer Kinder treffen können, die auf Information beruht.

Quellen:

Übertragungsverluste:

<https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cbertragungsverlust>

Wasserstoff verhindert die Energiewende, Ulf Bossel

<https://kus-stuttgart.de/wp-content/uploads/2021/06/UlfBosselWasserstoffKUS2021-06-15.pdf>

Kostenanalyse Elektrolyse:

<https://www.materials.fraunhofer.de/de/presse/detaillierte-kostenanalyse-fuer-wasserelektrolyse-systeme.html>

Kernenergie in Zahlen:

[https://www.kernenergie.ch/de/zahlen-und-fakten-\\_content---1--1079.html](https://www.kernenergie.ch/de/zahlen-und-fakten-_content---1--1079.html)

Gestehungskosten von Strom im Vergleich, Deutscher Bundestag, Wissenschaftlicher Dienst:

<https://www.bundestag.de/resource/blob/887090/1867659c1d4edcc0e32cb093ab073767/WD-5-005-22-pdf-data.pdf>

Wasserstoffautos - Die überraschende Wahrheit:

<https://www.expertentesten.de/news/wasserstoffautos-die-ueberraschende-wahrheit-ueber-die-kosten-pro-100km/>

Energieaufwand zur Herstellung von Photovoltaikanlagen:

<https://www.volker-quaschning.de/datserv/kev/index.php>

Wasserstoffspeicherung:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffspeicherung>

Wasserbedarf zur Wasserstoffherstellung:

<https://www.tga-fachplaner.de/energietechnik/energietraeger-wasserstoff-wie-viel-wasser-wird-dafuer-benoetigt>

Diesel besser als LNG:

<https://www.epochtimes.de/wissen/allgemein/lng-schlechter-als-diesel-brueckentechnologie-mit-bis-zu-50-prozent-mehr-emissionen-a4415323.html>