

## Wie wirkt Wasserstoff als Energieträger auf Ressourcen von Kommunen und auf den anthropogenen Anteil am Klimawandel?

### 1. Einleitung

Von Medien und Politik wird der sich zurzeit andeutende Klimawandel als anthropogen ausgemacht. Das ist aber nur richtig, soweit es die durch die anthropogene Tätigkeit in die Atmosphäre auf verschiedene Weise eingetragene Kohlenstoffdioxidmenge (CO<sub>2</sub>) betrifft. Allein verantwortlich wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß von Verkehr, Kraftwerken und der übrigen Industrie gemacht. Deshalb wird die Abwendung von fossilen Energieträgern propagiert. An deren Stelle soll sogenannte „erneuerbare Energie“ treten. Favorisiert sind Photovoltaik und Wind, weil scheinbar unbegrenzt verfügbar. Nur haben sie den Nachteil, nicht kontinuierlich nutzbar zu sein, die Sonne nur tagsüber, wenn nicht gerade durch Wolken gehindert, der Wind in unterschiedlicher Stärke, wenn kein orkanartiger Sturm oder Flaute herrscht. Es ist leicht einzusehen, daß unter diesen Bedingungen keine ausreichende Stromversorgung und insbesondere die Sicherung der elektrischen Grundlast erfolgen können. Stattdessen wird zu bestimmten Zeiten mehr Strom erzeugt als benötigt, der dann in ausländische Netze exportiert werden muß. Nur verdienen wir nicht, sondern müssen die Stromlieferung dem Abnehmer bezahlen. Ausweg aus dem Dilemma wäre eine Speichermöglichkeit. Aber wie? Der Traum heißt mittels „erneuerbare Energie“ gewonnener Wasserstoff. Nur ist dieser Traum real?

### 2. CO<sub>2</sub>-Quelle Kraftfahrzeuge

Die [CEP](#) (Clean Energy Partnership) gibt an:

Der Strombedarf für die Herstellung von Wasserstoff im Elektrolyseverfahren direkt an der Tankstelle liegt in der CEP derzeit bei ca. 55 kWh / kg H<sub>2</sub> bei einem angenommenem Wirkungsgrad von > 60 Prozent. Für die Erstellung von 1 kg Wasserstoff ist die neunfache Menge Wasser notwendig, also neun Liter.

Die für die Speicherung erforderliche Energie zur Kompression auf 700 bar, das sind ca. 12 % der im Wasserstoff enthaltenen chemischen Energie, dürfte bei CEP enthalten sein.

Von den aufgewendeten 55 kWh Elektroenergie enthält 1 kg H<sub>2</sub> nur 33 kWh. Die Differenz sind Wirkungsgradverluste, die als Wärme an die Umgebung abgegeben werden. Im weiteren Sinne, die Atmosphäre wird geheizt.

Es geht weiter, wenn wir den Weg des Wasserstoffs bis zum Fahrzeugantrieb verfolgen. Es ist hier zwischen Brennstoffzellenfahrzeug und Wasserstoffverbrennungsmotor zu unterscheiden. Während beim Wasserstoffverbrennungsmotor, der nach dem Ottoverfahren oder auch dem Dieselfahren arbeitet, die chemische Energie direkt in Antriebsenergie umgesetzt wird, treten beim Brennstoffzellenfahrzeug weitere Wandlungsverluste auf. In der Brennstoffzelle wird mit dem H<sub>2</sub> wieder Elektroenergie erzeugt, die das Fahrzeug über einen Elektromotor bewegt. Die Brennstoffzelle kann die im Wasserstoff chemisch gebundene Energie nur mit einem Wirkungsgrad von bis zu 60 % direkt in elektrische Energie umwandeln.

So stehen von den oben aus H<sub>2</sub> erhaltenen 33 kW nur noch knapp 20 kW als Antriebsenergie zur Verfügung. Die Wirkungsgradverluste heizen die Atmosphäre, was sonst auch die Abgase tun. Leider nicht leicht zu messen bzw. zu berechnen.

Eine Erfassung der Kosten für die Umstellung auf Wasserstoff erfolgt in diesen Rahmen nicht. Aber trotzdem ein Beispiel aus Hamburg (Quelle [Wikipedia](#)):

Auf der Hamburger Alster verkehrte von 2007 bis 2013 ein Fahrgastschiff für 100 Passagiere, das durch Strom (ca. 100 kW) aus Brennstoffzellen angetrieben wird. Die Kosten der Brennstoffzellen betragen 3 Mio. Euro, das komplette Schiff kostete 5 Mio. Euro. Es wurde im Rahmen des Projektes [Zemships](#) entwickelt. Die Stilllegung erfolgte wegen Außerbetriebnahme der H<sub>2</sub>-Tankstelle auf Grund von Unwirtschaftlichkeit.

Unwirtschaftlich aus energetischer Sicht wäre das ganze auch bei voller Auslastung der Tankstelle. Als Nachweis des ökonomischen Vorteils, Wasserstoff als Energieträger, kann das Projekt nicht dienen, weil die Fahrpreise gegenüber anderen Anwendungen keine Relevanz besitzen. So kann die Allgemeinheit hinters Licht geführt werden!

Vom Potential entsprechen 1 kg Wasserstoff ca. 3,8 l Benzin oder 3,3 l Diesel. Dies entspricht je ca. 33,5 kWh, d.h. es wurden in der Gesamtbilanz ca. 55 kWh Elektroenergie zusätzlich aufgewendet. Wo liegt nun der Vorteil des Wasserstoffs als Energieträger? Vergleichsweise ist dies unter dem Blickwinkel zu betrachten, daß vor Jahren Jürgen Trittin (Bündnis90/Die Grünen), Bundesminister a.D. vollmundig getönt hat: die Energiepreise werden durch die „Grüne Energie“ nicht steigen, eher sinken.

Berechtigt ist die Frage wo kommt der erforderliche Wasserstoff her. Billig ist er, wird vorausgesetzt, wenn die Gewinnung mittels erneuerbare Energien erfolgt. Aber wo stehen die in ausreichender Menge zur Verfügung?

Die Gewinnung von Wasserstoff wird, für diesen Rahmen ausreichend, unter [Wasserspaltung](#) beschrieben

### 3. Wasserstoffgewinnung

Da Wasserstoff als Speichermedium für „erneuerbare Energie“ dienen soll stehen für die Wasserstoffgewinnung praktisch nur Sonne und Wind zur Verfügung. Das anzuwendende Verfahren ist die Elektrolyse von Wasser. Die erforderliche Elektroenergie liefern Sonne mittels Photovoltaik und Wind per Windkraftanlagen.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Gewinnung von 100 kg Wasserstoff. Der Energiegehalt beträgt ca. 3.300 kW bzw. 3,3 MW entsprechend einem kleinen Kraftwerk oder einer Windkraftanlage der 3-MW-Klasse.

Unter Normalbedingungen ( $p_n = 1,01325 \text{ bar}$ ,  $T_n = 273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$ ) laut Standard beträgt das Volumen  $1.111 \text{ m}^3$ . Auf üblichen Einlagerungsdruck von 700 bar bezogen sind das  $1,6 \text{ m}^3$  bzw. 1.600 Liter.

#### 3.1 Photovoltaik

Die Photovoltaik ist die Anwendung von Solarzellen als Stromquelle, die Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln. Die physikalische Grundlage ist der photovoltaische Effekt.

Die höchsten Wirkungsgrade werden mit Monokristallinen Silizium Modulen (19 bis 24 %) und Konzentratorzellen (30 bis 40 %) erzielt. Der Flächenbedarf beträgt daher nur 5,3 bzw.  $3,3 \text{ m}^2$  statt der gewohnten  $8 \text{ m}^2$  pro kWp (p = peak steht für den erzielbaren Spitzenwert).



Bild 1: Dem Sonnenstand nachgeführte Photovoltaikanlage in Berlin-Adlershof Wikipedia



Bild 2: Chinesische Spitzentechnologie: CPV-Konzentratorzellen auf zweiachsigen Solartrackern Wiki.

Für die weiteren Ausführungen erhalten die Monokristallinen Silizium Module den Vorzug gegenüber Konzentratorzellen, trotz deren angekündigte Vorteile. Diese sind:

- der höhere Wirkungsgrad erfordert weniger Fläche,
- Einsparung von Halbleitermaterial,
- Anwendung von Mehrfachsolarzellen,
- zu geringeren Kosten kann oft die Sonneneinstrahlung einer größeren Fläche genutzt werden,
- sie arbeiten noch zuverlässig bei mehr als der 500-fachen Sonnenintensität.

Es besteht aber höherer mechanischer Aufwand, sie müssen unbedingt dem Sonnenstand exakt nachgeführt werden.

Für die Gewinnung von 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff durch elektrolytische Wasserspaltung werden in der Praxis 4,3–4,9 kWh Elektroenergie benötigt. Daraus ergeben sich für 1 kg H<sub>2</sub> durchschnittlich 51 kWh, es folgen für 100 kg 5.100 kWh.

Der erforderliche Modulflächenbedarf bezogen auf 5,3 m<sup>2</sup> pro kWp beträgt 27.000 m<sup>2</sup> bzw. 2,7 ha, was analog ca. 5½ Fußballfelder entspricht. Diese Fläche ist nur ausreichend für die Spitzenleistung, die am Tage nur zeitweise bei ungehinderter Sonneneinstrahlung erreicht wird. Gleiches gilt auch für den Jahresverlauf (ausgenommen die Tropen).

Für den Tagesablauf soll das Beispiel eines Sonnenkollektors zur Trinkwassergewinnung aus Meerwasser stehen.

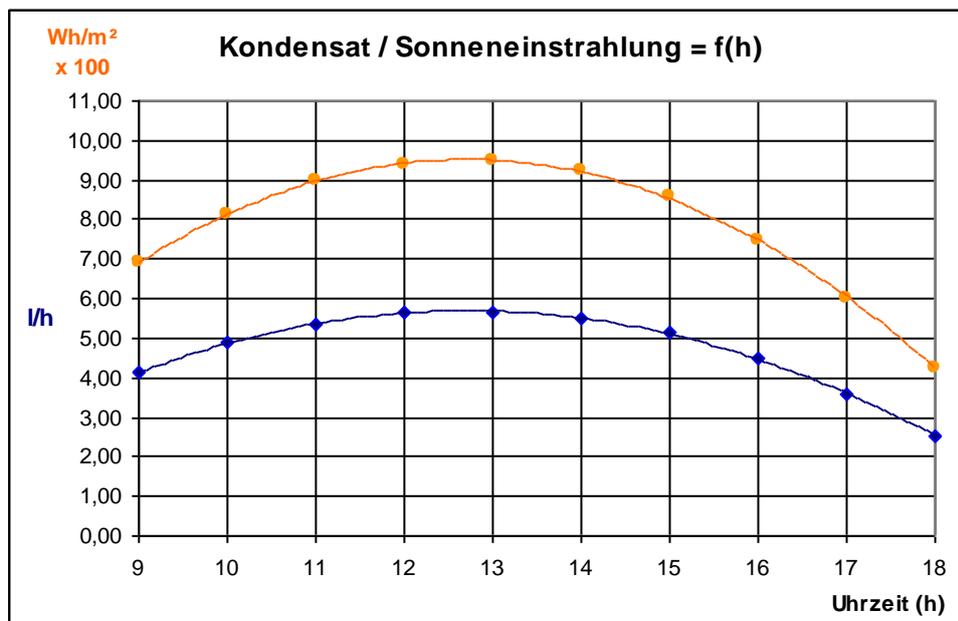


Diagramm 1: Palermo, 24.03.2000, eigene Messungen bei klarem Himmel

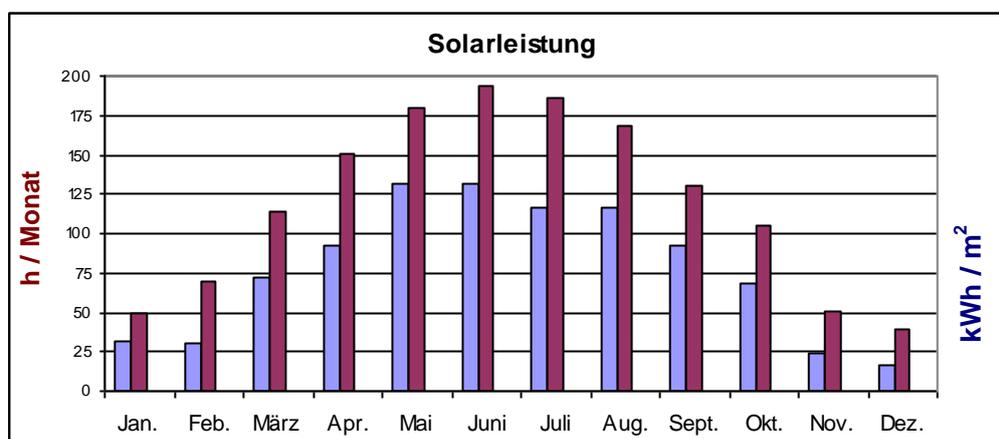


Diagramm 2: Monatsdarstellung von Sonnentagen und Solarleistung für Halle (Fünffjahresmittel)

Die Diagramme 1 und 2 zeigen, daß die Sonneneinstrahlung stark von der Jahreszeit und auch Tageszeit abhängig ist. Eine in kWp angegebene Leistung wird nur im Sommer bzw. in den Mittagsstunden erzielt.

Der für die Gewinnung von 100 kg Wasserstoff oben ausgewiesene Flächenbedarf von 2,7 ha ist also im Durchschnitt nicht ausreichend.

Monat	Solarleistung	Sonnentage
	kWh/m <sup>2</sup>	h/Monat
Januar	32	49,3
Februar	30	69,6
März	72	114,1
April	92	151,0
Mai	132	180,1
Juni	132	194,2
Juli	116	186,3
August	116	168,1
September	92	130,4
Oktober	68	105,0
November	24	50,6
Dezember	16	38,8
Ø	77	120
% Höchstwert	58,2	61,7

Tabelle 1: Werte für Halle (Diagramm 2)

Laut Tabelle 1 ließen sich auf Halle bezogen mit einer Modulfläche von 2,7 ha statt 100 kg Wasserstoff nur 58 kg gewinnen. Um 100 kg als Nennleistung zu erreichen, muß die Modulfläche ca. 4,65 ha betragen. Die zur Installation benötigte Freifläche beträgt gemäß Erfahrung das 2,5- bis 3-fache, das ergibt 11,5 bis 14 ha, das sind ca. 140 x 1.000 m oder 300 x 500 m. Wo befindet sich in Halle außer in den Schutzgebieten eine solche Fläche für **nur** 100 kg Wasserstoff?

Der Freiflächenbedarf für die Stromversorgung der Stadt Halle im Gedankenexperiment allein auf Basis Wasserstoff beträgt hoch gerechnet 25,6 km<sup>2</sup>. In dieser Fläche sind nicht enthalten der Bedarf für Elektrolyseure, Anlagen der Elektrotechnik, ein umfangreiches Tanklager zur Zwischenspeicherung des Wasserstoffs und die für das erforderliche Kraftwerk.

Die Fläche der Stadt beträgt insgesamt aber nur 135 km<sup>2</sup>. Die Dölauer Heide mit 7,6 km<sup>2</sup> neben anderen Schutzgebieten und die paar ha ausgewiesener Gewerbeflächen sind bei weitem nicht ausreichend. Auch wäre der Stadt durch Belegung der Flächen mit Photovoltaik wenig gedient.

Tabelle 2 gibt einen Überblick zur zu installierenden Leistung, um den Stromverbrauch der Stadt Halle zu decken und den erforderlichen Flächenbedarf bei Versorgung allein auf Basis Wasserstoff gewonnen durch Photovoltaik.

Verbrauchergruppe		gesamt	Industrie	Verkehr + Übrige	Haushalte
Strombedarf	MW	1.932	891	585	456
Modulfläche	km <sup>2</sup>	10,2	4,7	3,1	2,4
Freifläche min.	km <sup>2</sup>	25,6	11,8	7,8	6,0
Freifläche max.	km <sup>2</sup>	30,7	14,2	9,3	7,2

Tabelle 2: Stromverbrauch und Flächenbedarf Halle (Saale)

Scheinbar besteht ein Missverhältnis zwischen Modul- und für die Aufstellung erforderliche Freifläche. Der Flächenfaktor 2,5, bis 3 ergibt sich aus der Vermeidung von Schattenwurf, d.h. eine Modulreihe steht nicht im Schatten der anderen (Bild 1, Seite 2).

### 3.2 Wind

Als Alternative bzw. Ergänzung zur Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse dienen auch Windkraftanlagen als Stromerzeuger. Der erzeugte Strom wird direkt in das öffentliche Netz eingespeist, während der zeitweise Überschuß zur Gewinnung von Wasserstoff dient. Zur Stromversorgung der Stadt Halle komplett auf Basis Wind müßte eine Kapazität von ca. 160 MW elektrischer Leistung in Form von Windkraftanlagen (WKA) installiert werden.

Betrachtet wird der Einsatz von WKA der 3-MW-Klasse (jetzt sehr häufig in Betrieb). Rein rechnerisch wären das 53 Anlagen bei Nennleistung von 3 MW rund um die Uhr, d.h. bei 8.760 h/a Dauerbetrieb. (So rechnen offensichtlich die Grünen und Umweltschützer). Nur ist das nicht realisierbar, weil der Wirkungsgrad ca. 40 bis 60 % beträgt, das Fraunhofer Institut weist für Deutschland 44 % aus, und nicht ständig Wind in der richtigen Stärke vorhanden ist. Windkraftanlagen arbeiten nur bei Windgeschwindigkeiten zwischen 2,5 und 25 m/s, darüber (orkanartig) und darunter (Flaute) schalten sie automatisch ab. Die Zuschaltung erfolgt erst nach Aufhebung einer Sperrfunktion. Bei der Kapazitätsplanung muß deshalb von der Kennziffer Volllaststunden ausgegangen werden.

Mit Volllaststunden wird die Zeit bezeichnet, für die eine Anlage bei Nennleistung betrieben werden müsste, um die gleiche elektrische Arbeit umzusetzen, wie die Anlage innerhalb eines festgelegten Zeitraums, in dem auch Betriebspausen oder Teillastbetrieb vorkommen können, tatsächlich umgesetzt hat. (Wikipedia <https://de.wikipedia.org/wiki/Volllaststunde>).

Die Volllaststunden liegen für Deutschland im 10-Jahresmittel bei 1.650 Stunden und sind für das Jahr 2018 auf 1.800 gestiegen.

Unter diesen Voraussetzungen sind für eine Vollversorgung der Stadt mit Strom 258 WKA erforderlich. Um die Grundlastversorgung abzusichern muß eine Speicherung von zeitweise erzeugtem Überschußstrom vorhanden sein, eben eine Koppelung mit Wasserstoffgewinnung, dessen Speicherung und dem dazu gehörendem Kraftwerk. Ganz schön kompliziert!

Enorm wird der Flächenbedarf. Um eine höchst mögliche Leistung zu realisieren, dürfen in einem Windpark die einzelnen Anlagen nicht mit zu geringen Abständen errichtet werden. Für eine WKA werden  $150.000 \text{ m}^2 = 15 \text{ ha}$  benötigt. Diese Fläche folgt aus den Abständen, die zwischen den einzelnen Anlagen hinter- und nebeneinander einzuhalten sind, damit durch gegenseitige Beeinflussung keine Leistungsminderung entsteht. Kommen 3-MW-Anlagen von z.B. Enercon mit 100 m Rotordurchmesser zum Einsatz sollte der Abstand zwischen den Windkraftwerken in Hauptwindrichtung mind. 5 x Rotordurchmesser (ca. 500 m) und in Nebenwindrichtung mind. 3 x Rotordurchmesser (ca. 300 m) betragen. Diese Abstände sind analog den bei Mengendurchflußmessungen in Rohrleitungen und Kanälen erfahrungsgemäß zu wählenden Strecken von  $5 \times D$  zur Beruhigung der Strömung vor und nach der Meßstelle. Durch die Rotation der Rotorblätter wird die vektoriell gerichtete Luftströmung gestaut und verwirbelt. In Lee der Anlage entsteht ein Wirbelfeld von wesentlich geringerem Gehalt an kinetischer Energie und leicht erhöhter Temperatur. Die gestaute Strömung weicht zum Teil zur Seite aus und bildet ebenfalls Wirbelfelder. Um mit der nachfolgenden WKA wieder den vollen Elektroenergiebetrag zu erhalten müssen die Luftströmungen sich so weit beruhigen, daß sie wieder vektoriell gerichtet sind.

Eine Erhöhung der Zahl an Windkraftanlagen pro Fläche bringt keinen höheren Stromertrag, weil die Leistung der einzelnen Anlagen wegen geringerer Energiedichte der Luftströmung abfällt. Diese Einsicht hat scheinbar noch nicht den Weg in die deutsche Politik gefunden, denn das Umweltbundesamt rechnet, daß sich mit Windenergie knapp sieben Watt pro Quadratmeter Elektroenergie erzeugen lassen. Forscher vom Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena haben innerhalb einer internationalen Studie nachgewiesen, daß rechnerisch im windreichen US-Bundesstaat Kansas nur ein Ertrag von  $1,1 \text{ W/m}^2$  möglich ist. Im Vergleich erscheint mir meine Auslegung für Halle mit einem Ertrag von  $4,1 \text{ W/m}^2$  recht optimistisch.

Ein bisher nicht beachteter Effekt ist der Einfluß auf das Klima. Durch das Abbremsen der Luftströmung sorgen die entstehenden Turbulenzen für einen intensiven Austausch von Temperatur und Feuchtigkeit zwischen den Luftschichten verbunden mit Erhöhung der Lufttemperatur und eventuell geringeren Niederschlägen. Für eine einzelne Großstadt wird dies kaum in Erscheinung treten. Aber was ist, wenn ganz Deutschland oder die halbe Welt mit Photovoltaik oder Windkraftanlagen voll gepflastert ist?

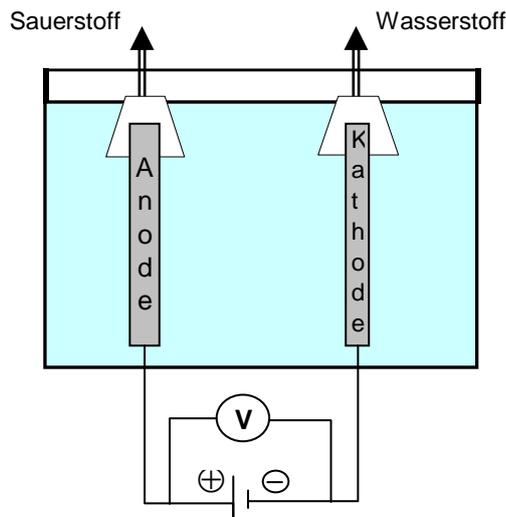
Dieses Thema soll hier nicht näher erläutert werden.

Fazit der vorstehenden Ausführungen ist, die Stadt Halle muß für die erforderlichen 258 WKA eine Fläche von 3.870.000 m<sup>2</sup> bzw. 38,7 km<sup>2</sup> aufwenden. Es gilt die gleiche Aussage wie zur Photovoltaik. Die Fläche der Stadt beträgt insgesamt aber nur 135 km<sup>2</sup>. Die Dölauer Heide mit 7,6 km<sup>2</sup> neben anderen Schutzgebieten und die paar ha Gewerbeflächen sind bei weitem nicht ausreichend. Auch wäre der Stadt durch Belegung der Flächen mit WKA wenig gedient, auch wenn die Flächen der Zwischenräume zweckorientiert genutzt werden können. Dauerhaft versiegelt bleiben für jede Anlage die Grundfläche des Fundaments mit ca. 600 m<sup>2</sup>, die Kranstellfläche mit ca. 1.800 m<sup>2</sup> und die notwendigen Verkehrswege.

### 3.3 Elektrolyse

Für die Umstellung der Stadt Halle auf „Grüne Energie“ steht uns jetzt entsprechend Absatz 3.1 und 3.2 ausreichend Elektroenergie zur Verfügung. Leider mit dem Nachteil, daß eine Realisierung flächenmäßig und auch wirtschaftlich sehr unwahrscheinlich ist. Der Windpark allein würde einen Investitionsbedarf von ca. 190 Mio. EUR erfordern. Der Aufwand für die Wasserstoffgewinnung, Speicherung und dem erforderlichen Kraftwerk sind nicht enthalten. Die Stadt verfügt aber nur über einen Etat (2020) von ca. 750 Mio. EUR, darunter Position Investitionen gesamt ca. 162 Mio. EUR. Der Ertrag pro Jahr beträgt bei einem Börsenpreis von ca. 3,5 ct/kWh nur 24,5 Mio. EUR abzüglich der laufenden Betriebskosten. Dies zur Einleitung in die Problematik Windenergie.

Jetzt zur berühmten „Power-to-Gas-Technologie“. Man verfüge über Strom und Wasser und habe einen Apparat mit Strom- und Wasseranschluß zum Erhalt von Wasserstoff. Nach dem Schema:



Aber so einfach geht das nicht. Zunächst gehört in die Elektrolysezelle je nach verwendetem Elektrolyt eine spezielle Membran zur Lenkung und Trennung der H<sub>2</sub>- und O<sub>2</sub> Ionen.

Zum Aufbau einer Elektrolyse-Anlage gehören:

- Transformator zur Einstellung der erforderlichen Spannung und
- Gleichrichter zum Erhalt von Gleichstrom einschließlich Leistungselektronik
- **Elektrolyseur**
- Gastrockner zur Abscheidung mitgerissener Wassertropfen
- Verdichter zur Volumenreduzierung vor der Druckspeicherung
- Speicherbehälter oder Tanks

Weiter gehören zur Anlage die peripheren Ausrüstungen:

- Pumpen für Frisch- und Kühlwasser zur Versorgung und Kühlung des Elektrolyseurs
- Wärmeübertrager in den Wasserkreisläufen
- Rohrleitungssystem
- Regelkreise für Druck, Durchflußmengen und Wassermanagement.

Ein wesentlicher Faktor für die Funktion einer Elektrolyse ist die Qualität des Speisewassers. Elektrolyse-Systeme funktionieren bisher am besten nur mit reinem Trinkwasser, was in vielen Regionen nicht ausreichend vorhanden ist und meist gerade dort, wo für Photovoltaik sehr gute Voraussetzungen bestehen.

Zur Verfügung stehendes Brauchwasser, das zwar der Kühlung dienen kann, muß aufbereitet werden.

Zurzeit stehen keine Anlagen für die Elektrolyse, wie wir sie im hier behandelten Beispiel benötigen würden, zur Verfügung. An einigen Entwicklungen im Rahmen Konzepte für Power-to-Gas wird gearbeitet. Aus diesen Gründen stehen mir nur ältere Prozeßdaten z.B. Anlagen von ehemals Lurgi zur Verfügung.

Die Anlagen arbeiten bei einem Systemdruck von 30 bar und erzeugen die Gasreinheiten:

Wasserstoff: 99,8 - 99,9 Vol. %

Sauerstoff: 99,3 - 99,6 Vol. %.

Verbrauchszahlen sind:

Elektrische Energie: 4,3 - 4,65 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>  
(Gaszustand 0°C, 1013 mbar, trocken)

Speisewasser: 0,85 l/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>

Kühlwasser: 80 l/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>.

Wartung:

Druckelektrolyseure des Systems LURGI sind für jahrelangen Dauerbetrieb ausgelegt und weitgehend wartungsfrei. Etliche der Anlagen sind seit mehr als 20 Jahren ohne Öffnung der Zellen in Betrieb.

Vorausgesetzt das Speisewasser wird durch Aufbereitung aus dem Kühlwasser gewonnen, das im Kreislauf mit Rückkühlung (Kühlturm) geführt werden muß werden ca. 80 l/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub> insgesamt benötigt. Bei Rückleitung in öffentliche Gewässer darf die Temperatur max. 35 °C betragen

Leider gibt es keine Angaben zum Flächenbedarf, der nicht unerheblich ist.



Bild 3: Kleine Anlage zur Wasserstoffgewinnung (Uniper) zur Veranschaulichung

Soll die Stromversorgung einschließlich der Grundlastsicherung für Halle nur auf Basis „Grüne Energie“ und Energiespeicher Wasserstoff erfolgen ist laut Tabelle 2 (Seite 4) eine Kapazität der elektrischen Leistung von 1.932 MW zu installieren, die rund um die Uhr ganzjährig H<sub>2</sub> erzeugen muß. Nur so können die notwendigen Reserven geschaffen und bevorratet werden, wenn Sonne und / oder Wind ihren Dienst nicht tun. Entsprechend dem Bedarf kann dann aus dem gespeicherten Wasserstoff Strom im Kraftwerk gewonnen werden, wenn dessen Kapazität reichen sollte. Sonst muß ein Weiteres, das im Standby oder mit Erdgas betrieben werden kann, vorhanden sein.

Entsprechend der zu installierenden Kapazität an Elektrolyser-Anlagen beträgt der Bedarf des im Kreislauf geführten Wassers ca. 360 m<sup>3</sup>/h. Das Wassermanagement für die Bereitstellung von Speisewasser für die Elektrolyse und Kesselspeisewasser für die Stromgewinnung im Kraftwerk ist Planungssache und bedarf hier keiner weiteren Erläuterung.

#### 4. Fazit

Definition von Power-to-Gas laut Wikipedia:

„Der Begriff Power-to-Gas steht für ein Konzept, bei dem überschüssiger Strom dazu verwendet wird, per Wasserelektrolyse Wasserstoff zu produzieren und bei Bedarf in einem zweiten Schritt unter Verwendung von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in synthetisches Methan umzuwandeln.“

Diese Definition hört sich sehr schön an und scheint sehr einfach in der Realisierung zu sein, um alle anstehenden Probleme bedingt durch Klimaänderungen zu lösen und zu einer von Kohlenstoff freien Stromversorgung zu kommen.

Wie unter Punkt „3. Wasserstoffgewinnung“ beschrieben ist es nicht so wie einfache Gemüter sich das vorstellen. Sie denken zwar qualitativ gesehen richtig, haben aber über Umfang und Folgen quantitativ nicht die geringsten Vorstellungen, weil sie gedanklich über ihr häusliches Umfeld nicht hinaus kommen und das ist der falsche Maßstab. Die Möglichkeiten, die durch Verwendung von Wasserstoff als Energieträger geboten werden sollten maximal genutzt werden, aber im Rahmen bestehender Möglichkeiten **sinnvoll** und **wirtschaftlich**.

Die Umsetzung der Solarleistung zusätzlich über Wasserstoff als Zwischenspeicher für die Gewinnung von Strom setzt durch die hinzu kommenden Wirkungsgradverluste durch den doppelten Wandlungsverlust (Strom-Wasserstoff-Strom), größere Mengen Wärme frei, mit der letztendlich die Atmosphäre geheizt wird. Im Kleinen nicht zu beobachten, aber bei globaler Anwendung? Wo unsere Politik ja hin will!

Es entsteht ein wirklich ernst zu nehmendes Problem, weil kaum daran gedacht wird, daß Wasserdampf ein stärkeres Treibhausgas ist als CO<sub>2</sub>. Wasserstoff verbrennt zu H<sub>2</sub>O-Dampf und erhöht damit unterstützt durch eine wärmere Atmosphäre erheblich die Wolkenbildung. CO<sub>2</sub> ist dann nebensächlich. Hoffentlich reicht der Rest dann für das Wachstum der Pflanzen, sonst wird bei geringerer Photosynthese auch noch der Sauerstoff knapp. Zum Glück gibt es ja noch das natürliche Freisetzen von CO<sub>2</sub> aus der bekannten Bodenatmung und bei steigender Temperatur aus den Ozeanen.

Die Wolken regnen auch wieder ab, aber nicht dort wo Regen benötigt wird, sondern in Gebirgslagen, bei ausreichender Abkühlung der Wolke, als Starkregen, der im Flachland zu Überschwemmungen führt. Diese Punkte sind fast Horrorszenarien, die aber oft zum wach rütteln dienen können.

Die Folgen der Verbrennung von Wasserstoff statt fossiler Energieträger sollten einmal ernsthaft wissenschaftlich untersucht werden, betrachtet im globalen Maßstab. Weiter ist eine endgültige Aussage zu treffen, in welchem Umfang Wasserdampf in der Atmosphäre als Treibhausgas wirkt und wann die Verdichtung zu Aerosolen und Wassertropfen zur Bildung von Wolken führt, die dann zum Wärmeschutz werden. Einmal durch Verhinderung der Abstrahlung von Wärme ins All und zum anderen zur Reflexion der Solarstrahlung. Welcher Effekt überwiegt unter welchen Rahmenbedingungen?

Die Aussage „Niedrig stehende Wolken kühlen die Erde, hoch stehende Wolken wirken wärmend“ ist nicht ausreichend, weil zu allgemein.

#### 5. Kommentare / Anmerkungen

Dritter zu einer wasserstoffbasierten Energiewirtschaft

- a) *Die Zahlen für Ökostrom, die benötigt werden, um den insgesamt benötigten Wasserstoff für eine Wasserstoffwirtschaft als „grünen“\* Wasserstoff herzustellen, variieren, sind aber in jedem Fall immens. Allein die deutsche Chemieindustrie würde mehr Ökostrom benötigen, als heute insgesamt in Deutschland an Strom verbraucht wird, wollte sie*

*komplett auf Ökostrom umstellen. 684,6 Terrawattstunden (TWh) müssten der Branche 2050 zur Verfügung stehen, errechneten die Dechema und Futurecamp für den VCI im Rahmen der [Roadmap Chemie 2050](#). Bei 513 TWh lag laut Umweltbundesamt 2018 der deutsche Stromverbrauch.*

- b) *Wasserstoff hat das Zeug, zum Schlüssel der Energiewende zu werden. An der Gewinnung aus Erdgas führt jedoch kein Weg vorbei. Die Bundesregierung verschließt davor die Augen, betont Mario Mehren, Vorstandsvorsitzende und [CEO](#) der Wintershall Dea GmbH.*

*Die Bundesregierung sollte erneuerbaren und dekarbonisierten Wasserstoff aus Erdgas – grünen, blauen und türkisen Wasserstoff\* – als gleichberechtigte Lösungsoptionen für ein klimaneutrales Energiesystem anerkennen.*

Durch die voreilige Beschränkung der technologischen Möglichkeiten aber ist niemandem geholfen. Selbstverständlich sollten wir auf regenerative Energien setzen – aber nicht ausschließlich: Gegenwärtig können wir aus erneuerbaren Energien weder wettbewerbsfähig noch in ausreichenden Mengen Wasserstoff produzieren. Das gilt übrigens auch für mögliche Exportländer.

#### \* **Farbenlehre Wasserstoff**

- Grau:** Herstellung via Dampfreformierung aus fossilen Brennstoffen (überwiegend Erdgas), auch Biogas, ohne CO<sub>2</sub>-Speicherung
- Blau:** Herstellung via Dampfreformierung aus Erdgas; CO<sub>2</sub> wird unterirdisch mittels CCS (Carbon Capture and Storage) gespeichert
- Türkis:** Herstellung via Methanpyrolyse aus Erdgas; CO<sub>2</sub> fällt in Form von festem Kohlenstoff an und kann industriell verarbeitet werden
- Grün:** Herstellung via Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien

Autor: Dipl.-Ing. Uwe Detloff

Merseburger Str. 170 in 06110 Halle

uwe.e.e.detloff@t-online.de

Tel, 0345-1 70 11 73