Die neue Wasserstoffstrategie – Nicht nur Käse aus Holland

geschrieben von Admin | 13. Juni 2020

Der einzige und vermeintliche Vorteil einer solchen Technik ist, dass kein CO_2beim Einsatz entsteht, was den geltenden Klimadogmen sehr entgegen kommt. CO_2ist bekanntlich ein Molekül von ca. 0,1 mm Größe (Greta Thunberg kann, qualitätsjournalistisch bestätigt, CO_2-Moleküle mit bloßem Auge sehen, was nach ophthalmologischen Erkenntnissen auf diese Größe schließen lässt), das bei zunehmender Konzentration in der Luft aufgrund der Zusammenstöße mit dem Kopf schwere Schädel-Hirn-Traumata auslösen kann, die sich in manischer Klimahysterie äußern.
Elementarer Wasserstoff hat allerdings den Nachteil, dass das nächste natürliche Vorkommen ca. 150 Millionen Kilometer oder 8,3 Lichtminuten entfernt ist und eine Temperatur von 5.500°C aufweist, was Gewinnung und Transport etwas problematisch machen. Wasserstoff muss folglich auf der Erde aus anderen Stoffen produziert werden.

Bundeswirtschaftsminister Peter Altmeier mit Vorstellung der „Wasserstoffstrategie“. Bild Screenshot Video des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Stand heute

Das und der technisch nicht gerade unheikle Umgang mit elementarem Wasserstoff haben seinen Einsatz bislang auf wenige industrielle Bereiche beschränkt, aber das soll ja anders werden. Man produziert ihn derzeit hauptsächlich durch thermische Formierung von Erdgas (Methan) mit Wasser oder partielle Oxidation von Erdgas, wobei Wasserstoff und CO_2entstehen, alternativ auch durch Zersetzung von Methan im elektrischen Lichtbogen, wobei neben Wasserstoff elementarer Kohlenstoff anfällt. Da Erdgas bei unter 4 ct/kWh liegt, die Verluste erträglich sind und man bei den Produktionsprozessen bislang auf nichts Rücksicht nimmt, ist das ökonomisch in Ordnung. Aus klimadogmatischer Sicht müsste das CO_2der ersten Verfahren abgeschieden und gelagert werden, was den Wirkungsgrad

unter 50% treiben würde, und da der Kohlenstoff des letzten Verfahrens, in dem fast die Hälfte der Energie steckt, ebenfalls unbrauchbar wäre, landet man auch da bei der gleichen Wirkungsgradhausnummer. Zudem widerspricht der Einsatz von Erdgas Ressourcendogmen.

Wasserstoff aus Wind und Sonne

Dogmatisch korrekt und obendrein effizienter wäre eine komplett CO_2-freie Produktion durch die Elektrolyse von Wasser, bei der immerhin ca. 85% der eingesetzten Energie im Wasserstoff landen würde. Dazu braucht man Strom. Den könnte man aus AKWs beziehen, Kosten z.Z. ca. 4 ct/kWh, langfristige Tendenz: abnehmend. Würde man das machen, wären bei einem Grundpreis von knapp 5 ct/kWh nachfolgende Verluste je nach Anwendung vermutlich kein großes Problem.
Will man aber nicht (Kein-AKW-Dogma). Es muss alles mit Windkraft oder Fotovoltaik gemacht werden, Kosten ca. 12 ct/kWh, Tendenz langfristig eher zunehmend. Da in Summe ohnehin nicht genügend Wind und Sonne zur Verfügung steht, zeitweise aber manchmal zu viel, will man diesen zeitweisen Überschuss für die Wasserstoffproduktion nutzen. So weit die offizielle Version, die bereits daran hapert, dass es nicht genügend Wind- und Sonnenstrom für alle Anwendungsgebiete gibt und geben wird. Aber das verschweigt man besser.
Die Niederländer wollen nun im Groninger Land einen neuen riesigen Windpark bauen. Der sollte zunächst soundsoviel Wohnungen versorgen können, falls der Wind weht, und ansonsten Wasserstoff produzieren. Inzwischen haben die Niederländer nachgerechnet: das mit den Wohnungen lohnt irgendwie nicht, also planen sie jetzt, nur Wasserstoff aus dem Windstrom zu produzieren. So um die 800.000 to/a sind geplant und irgendwie soll der Wasserstoff dann auch zu den Industrien an Rhein und Ruhr und zu Verbrauchern anderswo kommen. Die Niederländer meinen, das lohnt sich (für sie). Schauen wir uns das mal genauer an.

Ein paar Eckdaten

Im weiteren schauen wir auf ein paar Zahlen. Manche sind problemlos in Tabellenwerken zu finden, bei anderen ist das weniger einfach. Doch zunächst einmal zu den einfachen Sachen: Wasserstoff ist ja fürchterlich energiereich. Pro Kilogramm liegt er im Vergleich mit anderen Energieträgern deutlich an der Spitze, wobei wir hier die Verbrennungsenthalpie bei vollständiger Verbrennung betrachten.

Energieinhalt	Wasserstoff	Methan	Butan	Kohle
kJ/kg	286.000	50.125	49.620	32.750

Diese Werte werden gerne verkauft, um dem Betrachter den Wasserstoff schmackhaft zu machen. Für den Transport ist aber das Volumen interessanter als das Gewicht, und da sieht die Bilanz für den Wasserstoff weniger brillant aus:

Energieinhalt	Wasserstoff	Methan	Butan	Kohle
kJ/m³ (Gas)	25.535	35.803	128.500	(~82*10⁶)
kJ/m³ (F)	20,2*10⁶	21*10⁶	28*10⁶	~82*10⁶

Egal wie man es betrachtet, Steinkohle liegt volumenmäßig an der Spitze. Aufgelistet ist der Energieinhalt bei Normaldruck/Temperatur als Gas und sowie als Flüssiggas. Wenn man Gas komprimiert, liegt man irgendwo dazwischen. NPT-Wert * Druck in bar = Energieinhalt. Auch als Flüssiggas bringt Wasserstoff gerade einmal 70 kg/m³ auf die Waage und hat dann eine Temperatur von -252°C, die Alkane wiegen immerhin schon um die 500 kg/m³ (bei -160°C und 0°C), Kohle bei ca. 2,5 to. Solche Daten, die für den Transporteur interessanter sind, muss man allerdings selbst ausrechnen.
Die Frage wäre dann: Gas oder Flüssiggas? Die Russen liefern ihr Erdgas durch Röhren zu uns, die US-Amerikaner verflüssigen es und liefern es per Tanker. Ziemlich leicht lässt sich ermitteln, womit man bei Flüssiggas zu rechnen hat:

Verluste	Wasserstoff	Erdgas
Verflüssigung	≥35%	~12%
Lagerung pro Tag	~3%	~0,1%

Verflüssigung kostet recht viel Energie, was einer der Gründe ist, weshalb das US-Gas auch teurer ist als das russische, aber das nur nebenbei. Bei Erdgas (Siedepunkt -161°C) hält sich das trotzdem noch in Grenzen, Wasserstoff mit einem um fast 100°C niedrigeren Siedepunkt ist aber ein echtes Problem: In Houston eingeschifft wäre in Rotterdam weniger als die Hälfte übrig. Was für die Niederländer auch gelten würde, wie wir gleich sehen werden.

Die Logistik der Niederländer

Für die niederländische Wasserstoffproduktion kommt ein anderes Problem hinzu, das sie praktisch auf einen Stand mit Wasserstoff aus Houston setzen würde, würden sie auf Flüssigwasserstoff setzen: mit einem Atomkraftwerk könnte man den Wasserstoff „just-in-time“ in der Menge produzieren, in der er benötigt wird, die Niederländer müssen aber so produzieren, wie der Wind weht. Nimmt man Stromleistungen aus Wind und Leistungsbedarf der Kunden als Vorbild für eine Wasserstoffwirtschaft, bedeutet das über den Daumen gepeilt, dass von den 800.000 to/Jahr über den Daumen gepeilt ein Drittel bis zur Hälfte längere Zeit gelagert werden müsste. Nach Elektrolyse, Verflüssigung, Transport und Lagerung kämen noch bestenfalls 35% der Energie an, was mit allem Drumherum bereits zu einem Preis von knapp 50 ct/kWh ab Tank führen würde.
Das Mittel der Wahl ist somit der Transport von Wasserstoff als Gas durch Pipelines, weil die üblichen Druckgasflaschen mit 50 l Inhalt, 300 bar Fülldruck und 50 kg Gewicht wohl kaum lukrativ sind. Auch in Pipelines muss das Gas allerdings komprimiert werden. Bei AKW-Wasserstoff käme man vermutlich mit den üblichen 16 bar aus. Bei den

großen Mengen, die bei Windkraftproduktion zwischengespeichert werden müssten, müsste man aber auch Gaskavernen, in denen das Erdgas zwischengespeichert wird, einsetzen und bei höheren Drücken arbeiten. Wenn man Gas komprimiert, muss Volumenarbeit geleistet werden, außerdem erhitzt sich Gas bei Kompression. Da weder die Temperatur in den Leitungen/Speichern gehalten werden kann noch an der Verbraucherseite die mechanische Energie bei der Entspannung genutzt wird, handelt es sich um reine, bei größer werdendem Druck steigende Verluste. Die sind zwar nicht so spannend wie bei der Verflüssigung, aber bei ca. 80 bar bleiben ohne Berücksichtigung anderer Verluste wie beispielsweise Erzeugen und Halten des Kissendrucks in den Kavernen oder Druckerhöhungen in längeren Leitungen vom Windstrom noch ca. 60% übrig. Beim Verbraucher dürften also auch hier nur knapp über 50% ankommen. Solche Zahlen sind übrigens schon nicht mehr ganz einfach zu ermitteln. Zum einen redet man ungern über Verluste, zum anderen werden alle möglichen Schönrechnungsfaktoren eingerechnet. Wir kommen später noch darauf zurück. Solche Transportverluste entstehen zwar auch beim Erdgas, aber beim Wind-Wasserstoff müssen wir mindestens vom 5-fachen des Grundpreises von Erdgas ausgehen und dieser Faktor findet sich in allen Zahlen wieder. Zudem spielen auch noch weitere individuelle Randbedingungen mit. Als Kunde ahnt man vermutlich so ganz langsam, wohin sich die Abrechnung für die Heizung bewegt, wenn statt Erdgas niederländischer Wasserstoff eingesetzt wird.

Power-2-Gas

Die Pipeline-Version hat allerdings die Nebenbedingung, dass man auch Pipelines zur Verfügung hat. Wenn genügend vorhanden sind, kann man Erdgaspipelines außer Betrieb nehmen und umwidmen, ansonsten müsste man neue bauen. Das Gleiche gilt für Speicherkavernen. Als Alternative zum Wasserstofftransport bietet sich Power-2-Gas an, wobei man den Wasserstoff gar nicht erst transportiert, sondern mit CO_2zu Methan umwandelt. Da die Reaktion zwischen Wasserstoff und CO_2in der Gesamtbilanz exotherm ist, sieht das gar nicht so schlecht aus, wenn man die Abwärme nutzen kann.
Hier dreht allerdings die Schönfärberei voll auf. Realistisch betrachtet kommen von der Windkraft vermutlich ca. 60% im Methan an, das dann dem normalen Erdgas untergemischt werden kann. Spezialisten rechnen das unter Hinzuziehen aller möglichen Nebenbedingungen und theoretischer Optionen auf Werte nahe 100% hoch, also Wind=Gas. Eine der Mogelpackungen, die drinstecken: Wo bekommt man das CO_2her? Richtig, aus CO_2-Abscheidung aus anderen Prozessen. Das kostet ebenfalls wieder Energie, die bezahlt werden muss, was letztlich auch den Preis für das künstliche Erdgas weiter aufbläht. Die Kreuz- und Querrechnung ist ohne viel Aufwand kaum zu durchschauen und ob wirklich alle theoretischen Effekte auch in der Praxis genutzt werden können, ist fraglich. Man liegt sicher nicht weit daneben, wenn man unterstellt, dass bei P2G in der Gesamtbilanz ungefähr 40% des primären Windstroms ankommen. Mit entsprechenden Auswirkungen auf die Preise.

Wasserstoffträger

Besonders im Zusammenhang mit dem immer mehr platzenden E-Mobilitätstraum werden dem Publikum gerne flüssige organische Wasserstoffträger verkauft (dass Wasserstoffgas an Tankstellen eine dumme Idee sein könnte, scheint selbst Grünen ohne Knallgasreaktion einzuleuchten). Der Wasserstoff wird hierbei bei erhöhten Temperaturen chemisch in ein Molekül eingebaut und aus diesem bei noch höheren Temperaturen wieder freigesetzt. Handelsüblich sind etwa 150°C und höherer für Schritt 1 sowie 300°C für Schritt 2, jeweils in Gegenwart bestimmter Katalysatoren. Schritt 1 ist exotherm, wobei man versuchen kann, die Verluste durch Nutzen der Abwärme zu minimieren, Schritt 2 endotherm, d.h. es muss auf jeden Fall Energie zugeführt werden. Es ist etwas schwierig, an Daten zu gelangen, aber Wirkungsgrade bis zu 70% scheinen halbwegs realistisch zu sein. Die Datenlage ist deshalb schwierig, weil die den Wasserstoff nutzenden Brennstoffzellen einen höheren Wirkungsgrad als Benzinmotoren aufweisen, was sich propagandistisch besser macht als die Einzelwerte. Vermutlich sieht die Gesamtbilanz ohne alles Schönen kaum anders aus als bei Benzin.
Wieviel Wasserstoff kommt dabei zusammen? Nehmen wir als Rechenbeispiel einmal Toluol (verwendet werden andere verwandte Verbindungen, aber Toluol, ein Benzolabkömmling, war mal ein Kandidat), das bei einer Molmasse von 92 g/mol insgesamt 3 mol = 6 g Wasserstoff reversibel binden kann. Pro Kubikmeter kann Toluol bei einer Dichte von 0,87 g/cm³ umgerechnet ca. 14 kg Wasserstoff speichern, was einem Energieinhalt von $4*10^6$ kJ entspricht. Das ist gerade einmal 1/5 dessen, was ein LNG-Erdgasfahrzeug im gleichen Volumen mit sich führt. Nicht gerade der Renner. Bei der Untersuchung anderer Möglichkeiten, Wasserstoff an irgendetwas zu binden, findet man kein wirklichen Unterschiede zu diesen Werten.
Zum Transport von Wasserstoff eignen sich organische Wasserstoffträger somit eher nicht, und auch für die Mobilität kommen neben dem relativ geringen Energieinhalt und der damit notwendigen Tankstellendichte andere Probleme hinzu. An der Tankstelle muss man erst die alte Flüssigkeit ablaufen lassen, bevor man den Tank neu füllen kann, und auch der Tankwagen fährt voll wieder zurück und nicht leer. Auch mit AKW-Wasserstoff stellt sich die Frage, ob das wirklich die Technik der Zukunft ist, mit dem Preisgefüge, das sich aus Windkraft-Wasserstoff ergibt, braucht man diese Frage allerdings gar nicht erst zu stellen.

Strom-Speicher

Die Gastechniken werden auch als Energiepuffer für windschwache Zeiten gehandelt, d.h. man macht aus dem Gas in einem Kraftwerk wieder Strom, wenn kein Wind weht. Wäre genügend Strom vorhanden, wären Gasspeicher als solche vermutlich im Gegensatz zu allen anderen Ideen tatsächlich skalierbar, d.h. man könnte möglicherweise genügend Kavernen als Puffer bauen. Dummerweise landen wir bei P-2-G-2-P bei Wirkungsgraden um die 30%, d.h. in Überschusszeiten muss der Wind 3 kWh Überschussstrom produzieren, um in Mangelzeiten 1 kWh wieder zurück gewinnen zu können.

Wir können uns die weiter Diskussion vermutlich sparen.

Außer Spesen nichts gewesen

Wie schon erwähnt, war es teilweise nicht ganz einfach, realistische Zahlen aus dem üblichen Mogelwerk heraus zuziehen und ich erhebe keinen Anspruch, wirklich die letzten technischen Details berücksichtigt zu haben. Wer in den Zahlen einen Rechenfehler findet, darf ihn auch gerne behalten. Aber auch Korrekturen dürften die Bilanzen nur unwesentlich ändern. Technisch ist alles machbar, großenteils auch vom Standpunkt eines Ingenieurs hochinteressant, aber bezüglich der Dogmenbefriedigung, unter der alles firmiert, skaliert mal wieder nichts. Da die große Stromwende einschließlich der Elektromobilität aus einer ganzen Reihe von Gründen nicht funktioniert und das selbst dem grünen Ideologieapparat auffällt, verkauft man dem Volk nun die nächste Technik ausgerechnet auf Basis des Nichtfunktionierenden nach dem Motto „wenn etwas nicht funktioniert und obendrein zu teuer ist, propagiere ich eben etwas, was überhaupt nicht funktioniert und noch teurer ist“. Und keiner lacht.

Über den Autor
Prof. Dr. Gilbert Brands hatte eine Professur an der FH Emden im FB Elektrotechnik + Informatik, Lehr- und Arbeitsgebiete Kryptologie, IT-Sicherheit, Programmierung, Mathematik, Quanteninformatik und anderes Hardcorezeug aus der Informatik. Davor selbständig, angefangen 1982 mit der Entwicklung eines Systems zur zeitgleichen Leistungserfassung für die RAG. Vom Studium her ist er Physikochemiker.

Der Beitrag erschien zuerst am 20.3.20 hier bei EIKE