

Wasserstoffwirtschaft: Pläne, Mythos, Fakten

Tagung Bürger für Technik, 2. Okt. 2023 in Hannover

Dr. Heinrich Lindner

Dieser Beitrag ist **keine** Werbung für die Pläne der Bundesregierung, eine Versorgung unseres Landes mit Primärenergie auf der Grundlage “grüner Wasserstoff” aufzubauen. Vielmehr soll dargestellt werden, was wir zu erwarten haben, sollten die Pläne umgesetzt werden.

Alle Folien , Graphiken und Bilder im Unterverzeichnis “**vortrag_bilder**”.

00_Nationale_Wasserstoffstrategie

Dokument einsehbar auf der Internetseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, voller Wortlaut unter backup.

Inhalt und Kontext in knappen Worten: Teil 1 der Energiewende ist der Ausbau der “Erneuerbaren” auf über 80 % Ökostrom, für die Klimaneutralität bis 2050 (oder 2040? oder 20230?) brauchen wir noch die Abkehr von jeglichem Fossilen in Industrie (Chemie, Stahl, Verkehr). Dazu eignet sich **!grüner!** Wasserstoff, weil dieser emissionsfrei zu Wasser verbrennt => notwendiger Teil 2 der Energiewende, um vollständige Klimaneutralität zu erreichen. Angestrebt wird eine weltweite Zusammenarbeit, wir sind also schon wieder einmal Vorreiter.

01_Wasserstoffrat

ist ein Kontrollgremium, das den Fortschritt der Umsetzung kontrollieren und dokumentieren soll.

02_H2_Farben

Die verschiedenen Verfahren der H₂-Erzeugung werden gern einprägsam mit einer Farbskala markiert:

- grün: Elektrolyse von Wasser mit Ökostrom
- grau: Wasserdampfreformierung von Methan (Erdgas)
- rot : Elektrolyse von Wasser mit Strom aus Kernenergie
- zwei weitere, türkis und blau

Die Farbe drückt auch schon die bevorzugte Art (grün) und die abzulehnende Art (rot) aus.

03_Elektrolyse

Zur Erinnerung: der bekannte Versuch aus dem Chemi-Unterricht, Hoffmanscher Wasserzersetzungsapparat. Der Wasserstoff in der rechten Säule “weiß” nichts davon, ob er grün oder rot ist, darüber entscheidet die Spannungsquelle an Anode und Kathode.

04_grauer1_H2 großtechnische Anlage zur Erzeugung von H₂, Leuna

04_grauer_H2 Reaktionsgleichungen nach dem Dampf-Reformierungsverfahren (“steam reforming”). In jeder Chemie-Vorlesung wird die Elektrolyse als viel zu teuer und viel zu umständlich dargestellt. - In zwei Stufen wird H₂ aus CH₄ und aus H₂O freigesetzt. Wasserdampfreformierung ist weltweit das Standardverfahren der chemischen Industrie.

05_Haber_Bosch_NH₃ (Wikipedia-Diagramm)

Der größte Bedarf weltweit an Wasserstoff stellt das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniak-Synthese dar (NH₃), Weltjahresproduktion 150 Millionen Tonnen. NH₃ ist der Ausgangsstoff für die Produktion von Nitrat-Kunstdünger, ohne den die Welternährung zusammenbräche. Im linken Teil des Diagramms ist die Erzeugung von "grauem" Wasserstoff H₂ (Wasserdampfreformierung) dargestellt, N₂ ist atmosphärischer Stickstoff. In der Mitte des Diagramms sind H₂ und N₂ aufbereitet und reagieren im rechten Teil zu Ammoniak NH₃.

Wollte man das Verfahren auf grünen Wasserstoff H₂ umstellen, so wären vor dem linken Teil des Diagramms je nach Größe der Anlage 100te bis 1000ste Windräder und eine entsprechende Anzahl von Elektrolyseuren erforderlich.

06_Grüner_H₂_Elektrolyse

Es gibt weltweit Anbieter von Elektrolyseuren, die aus Ökostrom (auch lokal erzeugt) grünen Wasserstoff herstellen, Anbieter z.B. Siemens Energy (Elektrolyseure und Windräder). Dazu Schlagzeile in jüngster Zeit: "Windräder sorgen für Milliardenverlust bei Siemens Energy".

Die Stadt Mainz unterhielt bis vor kurzem einen Probebetrieb von acht städtischen Linienbussen mit elektrolytischem Wasserstoff, dazu drei Elektrolyseure, allerdings noch nicht Ökostrom, sondern regulärer Netzstrom. Eine Hochrechnung: Mainz betreibt 150

Linienbusse, also 3 x 50. Dazu wären geschätzt mindestens 30 Elektrolyseure der in **Bild 06** gezeigten Art erforderlich, zusätzlich 80 Windräder, etwa in einem Naturschutzgebiet und eine großflächige Photovoltaikanlage auf einer Wiese. Andere Möglichkeit: Meerewindpark und Elektrolyseure in Hamburg, Anschluss an ein H₂-Verteilungsnetz, oder Wasserstoff aus Namibia (s.u.), der in Fuhlsbüttel auf dem Seeweg angelandet wird. - Auf diesem Weg wäre der innerstädtische Linienbusbetrieb in Mainz klimaneutral!

07_Stahlherstellung

Auf die Stahlindustrie wird ein erheblicher politischer Druck ausgeübt (schon unter der Vorgängerregierung, P. Altmaier), die Stahlproduktion mit grünem Wasserstoff klimaneutral zu machen. Der dreistufige Prozess

- Eisenerz im Hochofen zu Roheisen
- Roheisen zu Stahl (“Veredlung”)
- Formgebung, Walzwerk, Eisenbahnschienen, ...

geschieht ausschließlich auf Basis Koks. Im Original der schematischen Darstellung ist jeweils über das Feld “zum Film” ein kurzer Filmstreifen zugreifbar.

08_Geld_für_Thyssenkrupp

Für Thyssen-Krupp wurden aus dem Bundeshaushalt (inzwischen verfassungswidrig) 1,3 Milliarden € “locker” gemacht. - Sofern es den grünen Wasserstoff je geben wird, treibt er den Stahlpreis auf das fünf-fache. Dazu will man den “grünen” Stahl dauerhaft subventionieren und den herkömmlich produzierten Stahl vom Weltmarkt durch Importzölle abwehren.

10_Förderung_HINT, 10_z_Förderung_HINT

Ein weiteres Beispiel “großzügiger” Fördergelder ist die Gewährung von einer Milliarde € verteilt über 10 Jahre an eine wenig bekannte Institution “Hydrogen Intermediary Network”, Sitz Leipzig, die den weltweiten Wasserstoffhandel in Gang setzen soll. Die Zuwendung wurde von dem inzwischen uspendierten Staatssekretär P.Graichen gewährt (aus illegalem Schattenhaushalt?).

11_0_EnCN Energie Campus Nürnberg

11_fau Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg Institute, die auf der politisch/ideologisch vorgegebenen Richtung forschen, erhalten großzügige Förderung aus Steuergeldern, wohingegen der Dual-Fluid-Reaktor keinerlei staatliche Förderung erhält, im Gegenteil, das Projekt ist privat finanziert und ist nach Ruanda / Ostafrika ausgewichen.

Bemerkenswert ist außerdem die Schaffung immer neuer nahezu sinnloser Stellen: Innovationsbeauftragter “Grüner Wasserstoff”, Dr. Stefan Kaufmann, Jurist.

12_BMFT-Leitprojekte

BMFT: Bundesministerien für Forschung und Technologie

H₂GIGA: Fließbandproduktion von Elektrolyseuren, offenbar gedacht für lokale / kommunale Anwendung, erinnert an Henry Ford Lizzy

H₂Mare: Meereswindparks mit Elektrolyseur gleich vor Ort, der erzeugt Wasserstoff wird dann über eine Rohrleitung an das Festland geleitet.

TRANSHYDE: Transport von Wasserstoff auf dem Seeweg mit Schiffen. Die Erwähnung von "Ammoniak" an dem Schiffssymbol deutet aus, dass allgemein der Seetransport von Wasserstoff nur mit der vorigen Umwandlung in Ammoniak NH_3 denkbar ist, also Haber-Bosch-Verfahren am Ursprungsort und Ammoniak-Spaltung am Empfangsort. Transport von flüssigem Wasserstoff -252 Grad Celsius (21 Kelvin) oder gasförmig. Kompression of 700 bar ist technisch nicht machbar.

Empörend ist, dass das renommierte Forschungszentrum Jülich mit derartigen Banalitäten beauftragt wird, früher entwickelte Jülich den Hochtemperatur-Kugelhaufenreaktor und forschte an Kernfusion. Das ist ein Ergebnis unserer Denkverbote.

13_H₂_Hub_Moorburg

Das Steinkohlekraftwerk Hamburg-Moorburg, Betreiber Vattenfall / Schweden, Kapazität 1,65 GW, mehrfach modernisiert, nach jahrelanger Behinderung durch die Grüne Partei stillgelegt, für eine Entschädigung von 300 Millionen €. Olaf Scholz hatte als Hamburger Oberbürgermeister seinerzeit verhindert, dass die Abwärme als Kraft-Wärme-Kopplung genutzt wurde. Die Stadt Hamburg kaufte Gelände und abzureißende Anlagen für 100 Millionen €. Unter grünem Management soll dort grüner Wasserstoff produziert werden, zunächst mit einer 100 MW- Elektrolyseanlage, spätere Erweiterung.

14_Moorburg_Hub

Die Visionen sind: Science-Fiction: der Elektrolyseur (in grün dargestellt) wird von Windparks Offshore / Onshore und Photovoltaik gespeist. Der Wasserstoff wird vielfältig genutzt: rückverstromt, synthetische Kraftstoffe für Flugzeuge, Belieferung der Industrie, Gebäudeheizung, Betrieb der Hafenanlagen,

15_Offshore

Die Bereitschaft in Offshore-Anlagen zu investieren, auch ohne Subventionen, ist offenbar grenzenlos.

16_Shell_Rotterdam

Die Shell-Oil-Company (britisch / niederländisch) verkündet, in Europas größtem Erdöl-Importhafen die Europas größte Anlage für grünen Wasserstoff abuen zu wollen.

17_Shell_Green_H₂

Die üblichen Träume: Meereswindparks, Photovoltaik, Elektrolyseur, Rückverstromung, synthetische Kraftstoffe, H₂ für Straßenverkehr. Aber die Nennung von Reffhyne I/limit 10 bzw. 100 Mwzeugt nicht unbedingt von Ernsthaftigkeit des Plans, vielleicht mehr PR.

18_H₂Autobahn

Studie eines Konsortiums, Wasserstoff in Strom-Äquivalenten von 5 GW bzw. 10 GW von Schottland nach Rotterdam zu liefern; der Transport auf dem Seeweg soll mit dem patentierten LOHC-Verfahren erfolgen: Wasserstoff wird an Doppelbindungen eines organischen

Moleküls angelagert und am Empfang wieder abgespalten werden.

Natürlich hat in allen diesen Fällen unser Wirtschafts- / Klimaminister Interesse angemeldet.

19_H₂_Namibia

Die Desertec-Idee lebt wieder auf: in der Wüste gibt es Sonne, unbegrenzte Fläche und häufig auch noch Wind, also Wüstenstrom => Wasserstoff durch Elektrolyse => Verschiffen auf dem Seeweg nach Fuhlsbüttel. Es ist offenbar Habecks bedeutendes Projekt, der bekannte Uralt-Energiewender Rainer Baake wurde zum Beauftragten ernannt, die Regierung Namibias begrüßt die Absicht nachdrücklich.

Als Standort wurde die Halbinsel nahe Lüderitz auserkoren.

20_Solar_Namibia

Die Dimension dieses Projektes müssten gigantisch sein, wenn eine nenneswerte Energiemenge bei uns angelandet werden soll. Photostrom nach dem Spiegel-Array-Turm-Kollektor (s. Bild, aber ein Vielfaches der gezeigten zwei Felder), Photovoltaik oder Paabolrinnenverfahren. In Lüderitz weht jeweils bei Sonnenuntergang ein kräftiger Wind, weil sich nach der Tageshitze ein erheblicher Luftdruckunterschied Meer / Wüste aufbaut, also => Windräder. Danach Elektrolyseur großen Ausmaßes mit Wasserstoffspeicher. Der Wasserbedarf ist erheblich: 9 l Wasser für 1 kg Wasserstoff, dafür ist eine Meerwasserentsalzungsanlage erforderlich:

31_Meerwasser_Entsalzung nach dem Verfahren Umkehr-Osmose, verbraucht wieder Energie.

Zum Transport auf dem Seeweg ist Umwandlung in Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren erforderlich, also eine chemische Fabrik; der Hafen in Lüderitz müsste ausgebaut werden. Da ein Schiff über die mehr als 10.000 km drei Wochen unterwegs ist, bräuchte man 40 Schiffe im Pendelbetrieb, wollte man täglich ein Schiff in Fuhlsbüttel anlanden. Dort müsste man dann den Wasserstoff aus dem Ammoniak wieder chemisch abtrennen.

Das Ganze wäre ein Bitterfeld-Leuna-Chemiedreieck. Hinzu kommt die politische Ungewissheit, dass ein dortiger Politiker auf die Idee käme, nach dem Vorbild Robert Mugabe "Afrika den Afrikanern", die ganze Anlage verstaatlicht oder an Chinesen überträgt. Würden wir in diesem Fall die Bundeswehr nach Namibia entsenden?

Ziemlich sichere Prognose: aus Namibia wird niemals Wasserstoff bei uns eintreffen, das Projekt ist eine Fata Morgana.

22_Kritik_Namibia_Porjekt von Hans Hofmann-Reinicke, Physiker, lebte lange in Südafrika. Vollständige Version im Verzeichnis backup.

23_Staatssekretär_Kellner

Nach einem Bericht des Magazins **Tichys Einblick** verfolgt Staatssekretär Kellner (verschwägert mit den Graichens) mit dem Namibia-Projekt große Pläne: er will die unbedeutende Firma ENERTRAG /Uckermark

24_Enertrag

zu großer Bedeutung empor heben und dabei auch noch

25_PCK_Schwedt das Petrochemisches Kombinat Schwedt /Oder, Erdölraffinerie

in einen gigantischen Wasserstoff-Produzenten umwandeln. Die Gelegenheit dazu erschien günstig, weil wegen der Russland-Sanktiontn kein russisches Erdöl mehr nach Schwedt geliefert wird.

26_Neom1

Noch ein Projekt, das deutsche Hoffnungen erweckte: Kronprinz Mohammed bin Salman / Saudi-Arabien verfolgt ein Projekt (wieder einmal eine Desertec-Wüstenstrom-Variante) namens **Neom**, mit 500 Milliarden \$ soll eine Megastadt / Industrieanlage entstehen, mit der unter anderem in die ganze Welt Ammoniak aus Wüstenstrom geliefert werden kann. Neben Ammoniak vieles mehr: Gentechnik, künstliche Intelligenz, alles was irgendwie Zukunft verspricht.

27_Neom2

Vorgesehen ist ein Gebiet in Saudirabien von der Ausdehnung Belgiens, angrenzend an Jordanien, gegenüber der Halbinsel Sinai, zwischen der Stadt Tabuk, mit Duba im Süden als Hafen. Um Fachleute aus aller Welt anzuwerben, soll das Gebiet einen beonderen Rechtsstatus erhalten: die Scharia (Auspeitschen, Hände abhacken) soll dort nicht gelten. - Der deutsche ehemalige Siemens Manager Kleinfeld war zwei Jahre für das Vorhaben aktiv, ebenso ein namhafter niederlänischer Manager. - Das Projekt scheint

über ein Anfangsstadium noch nicht hinaus gekommen zu sein.

Neues Thema: welche Anwendungen sind möglich, sollte es je Wasserstoff als Energieträger in ausreichendem Umfang geben?

28_Brennstoffzelle

Die H₂-Brennstoffzelle ist stark vereinfacht die Umkehrung des Elektrolyseurs: anstatt mit Strom Wasser in H₂ und O₂ zu spalten, rückverwandelt die Brennstoffzelle die Gase H₂ und O₂ zu H₂O und setzt die Energie als Strom wieder frei. Der Vorteil gegenüber der Verbrennung von H₂ in einem Verbrennungsmotor oder einer Gasturbine besteht darin, dass die Begrenzung des Wirkungsgrades nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Carnotscher Kreisprozess) nicht besteht.

29_H₂_LKW

Daimler-Benz und andere Unternehmen forschen seit 30 Jahren Wasserstoff-Brennstoffzellen-betriebenen Fahrzeugen. Eine Marktdurchdringung ist bisher nicht gelungen, der technische Erfolg ist aber demonstriert.

30_H₂Stadtbus, 31_H₂PKW ebenso technisch erfolgreich. Ein H₂-betriebenes Fahrzeug verspricht gegenüber dem "Elektro"-Auto (Li-Ionen-Akkumulator) kürzere Aufladezeit beim Tanken und größere Reichweite, geringere Empfindlichkeit gegenüber niedrigen Temperaturen.

32_H₂_Flugzeug

Unter erheblichem Druck seitens der Klima-Katastrophen-Verkünder steht der Luftverkehr. Die Darstellung (künstlerisch, keine ausgeführten Prototypen) zeigt ein kleine Kurzsteckenflugzeug, ein Mittelstreckenflugzeug (Turboprop, d.h. Gasturbine, oder Brennstoffzelle Elektromotor) und ein Langstreckenflugzeug, offenbar mit H₂-Gasturbine angedacht. Das schwierige, fast unlösbare Problem ist die Mitführung des H₂-Kraftstoffes wegen seine hohen Volumen-Bedarfs. Eine Boeing777-ER (Extended Range) kann 91.000 l Keros in den Flügeln aufnehmen. Für Wasserstoff müsste man einen erheblichen Teil des hinteren Rumpfes, im Bild schwarz markiert, abtrennen. Der Wasserstoff wäre dann flüssig (-252 Grad Celsius, 22 K) oder hochkomprimiert auf 700 bar. Ein solcher Flieger wäre bei einer Bauchlandung der sichere Tod für alle Insassen ("Fireball").

33_H₂_Nuclear_Frankreich

Frankreich ist der Nutzung von Wasserstoff aufgeschlossen, will diesen aber mit Kernenergie erzeugen. Die EU erkannte - gegen heftigen Einspruch der deutschen Grünen - diesen Weg und die gesamte Kernenergie als nachhaltig an.

34_H₂_Nuclear_USA

Auch in den USA wird Wasserstoff mit Kernenergie erzeugt.

35_Anwendung_DFR

Die vielfältigen möglichen Anwendungen des Dual-Fluid-Reaktors, u.a. Wasserstoff-Produktion, werden bei uns geflissentlich ignoriert.

36_Vortrag_Schluss

Energie = Wind- + Sonnenenergie, das ist das zentrale Dogma unserer Energiewender. Von heute 30.000 Windrädern im Land stellen wir weitere 60.000 Windräder zusätzlich auf, dazu Meereswindparks in Nord- und Ostsee. Die gelegentlichen Überschüsse des Ökostroms nutzen wir zur Erzeugung von grünem Wasserstoff. Wir benötigen Partnerschaften mit anderen Ländern, um weitere grüne Energie zu liefern: Nachbarländer, Schottland, Namibia, auch Chile mit Kap Horn (dauerhaft starker Wind) war angedacht.

Dieser ganze grüne Traum scheitert an der Physik: alle “erneuerbaren” Energiefomen haben geringe Dichte, erfordern daher hohen Materialeinsatz und haben großen Flächenbedarf. Von den vier Wechselwirkungen, die man in der Physik unterscheidet, hat die starke Wechselwirkung => Kernkräfte => Kernenergie den geringsten Bedarf an Material und Fläche. Kernenergie ist verlässlich und regelbar.

37_Mazzucato

Nachtrag: Klima- und Wirtschaftsminister Habeck hat sich den Thesen der italienisch-amerikanischen Ökonomin Mazzucato angeschlossen: “Innovation braucht staatliche Lenkung, weil die freie Wirtschaft nur kurzfristige

Gewinnmaximierung verfolgt, zur langfristigen strategischen Handeln nicht fähig ist”.

Unser wirtschaftliches Erfolgsmodell seit Gründung der Bundesrepublik fußte auf der **sozialen Marktwirtschaft Eucken**, Müller-Harnack und Ludwig Erhard.

Dagegen Habeck / BMWK: “Wohlstand und Klimaschutz: Die **sozial-ökologische Marktwirtschaft** ist das Konzept für die Transformation hin zur Klimaneutralität” (Original Internetseite Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz).