

Mit Wasserstoff zum grünen Kapitalismus?



Warum das nicht funktionieren kann

Klaus Meier

Mit Wasserstoff zum grünen Kapitalismus?

Bild erste Seite: Kostenloses hochauflösendes Foto von Tröpfchen, Juni 2020 aus <https://pxhere.com/de/photo/>

In der Schriftenreihe „Ökosozialismus: Analyse + Perspektiven“ werden in unregelmäßigen Abständen Analysen zur ökosozialistischen Strategiediskussion in Broschürenform herausgegeben. Sie verstehen sich als Diskussionsbeiträge zur Entwicklung einer nachhaltigen Antwort auf die globale ökologische Krise. Die Schriften sind im Internet zu finden auf den Seiten des Netzwerks Ökosozialismus (oekosozialismus.net) sowie teilweise der Sozialistischen Zeitung (sozonline.de).

Das Netzwerk Ökosozialismus will gemeinsam mit anderen ökologisch Aktiven tragfähige politische Antworten entwickeln. Es ist daher interessiert an politisch vielfältigen und auch kontroversen Diskussionen. Damit einhergehend soll der Aufbau eines strukturierten Kontakt- und Aktionsnetzes vorangetrieben werden. Interessierten wird eine intensive politische Diskussion zu ökologischen und ökosozialistischen Fragestellungen angeboten.

Die Bestellung von Broschüren oder die Anforderung von Referenten kann erfolgen über:

MeierKlaus13@yahoo.de

Visdp: Angela Klein, Regentenstraße 57-59, 51063 Köln

1. Wasserstoff als ökologische Innovation

Anfang Juni 2020 hat die Bundesregierung ihre „Nationale Wasserstoffstrategie“ gegenüber der breiten Öffentlichkeit verkündet. Federführend bei der Erstellung war das Wirtschaftsministerium. Bei Wasserstofftechnologien soll Deutschland „die Nummer eins in der Welt“ werden, tönte Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier. Und weiter erklärte er, dies sei die größte Innovation im Bereich Klimaschutz und Energiewende seit der Einführung des erneuerbaren Energiegesetzes (EEG)¹.

„Grüner“ Wasserstoff wird erzeugt durch die Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff mit Hilfe von elektrischem Strom, der sog. Elektrolyse². Dabei wird ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien verwendet. Mit grünem Wasserstoff könnten wichtige Teile der Industrie CO₂-neutral gemacht werden. So die Hochöfen der Stahlindustrie, wo in Zukunft für die Reduzierung des Eisenerzes Wasserstoff statt Kohle eingesetzt werden könnte. Oder Teile der chemischen Grundstoffindustrie könnten bei der Methanol- und der Ammoniakproduktion CO₂-frei werden. Und schwere Lastwagen, Baufahrzeuge oder Traktoren könnten mit Brennstoffzellen betrieben werden, die Wasserstoff als Energieträger nutzen. Aus Wasserstoff könnte auch synthetisches Kerosin oder andere Treibstoffe hergestellt werden, so dass auch Flugzeuge und Schiffe CO₂-neutral angetrieben werden könnten. Und nicht zuletzt eignet sich Wasserstoff zur jahreszeitlichen

-
- 1 Grüner Wasserstoff ist keine Erfindung von Peter Altmaier. Bereits 2011 beschrieb der amerikanische Autor und Professor Jeremy Rifkin in seinem Buch „Die dritte industrielle Revolution“ die Wasserstofftechnologie als eine phantastische „Lösung“ für viele Probleme. Er hielt dazu auch Vorträge im Deutschen Bundestag.
 - 2 Man unterscheidet als Verfahren die alkalischen Elektrolyse (AEL), die PEM-Elektrolyse (PEMEL) und die Hochtemperaturelektrolyse (HTEL). Die alkalische Elektrolyse aber auch zu weiten Teilen die PEM-Elektrolyse befinden sich in einem technisch ausgereiften Zustand. Die HTEL ist z.Z. noch Forschungsgegenstand. Im Mittel kann heute von einem Wirkungsgrad von etwa 70 % für die AEL und die PEMEL ausgegangen werden (bezogen auf den Heizwert des Wasserstoffs) [Ind18].

Zwischenspeicherung von überschüssigem Wind- und Solarstrom. In Zeiten einer Windflaute bei gleichzeitig schwacher Solareinstrahlung könnte der gespeicherte Wasserstoff wieder verstromt werden und so die Energieversorgung sichern.

2. Wasserstoff – eine ökologische Wunderwaffe?

Viele Medien haben die Initiative der Bundesregierung positiv aufgenommen. In einem Kommentar der Süddeutschen Zeitung ist die Begeisterung zu greifen. Wasserstoff sei im Kampf gegen den Klimawandel eine „potenzielle Wunderwaffe“. Und: „Sie hat das Zeug zu einem sauberen Exportknüller.“ [Bau20].

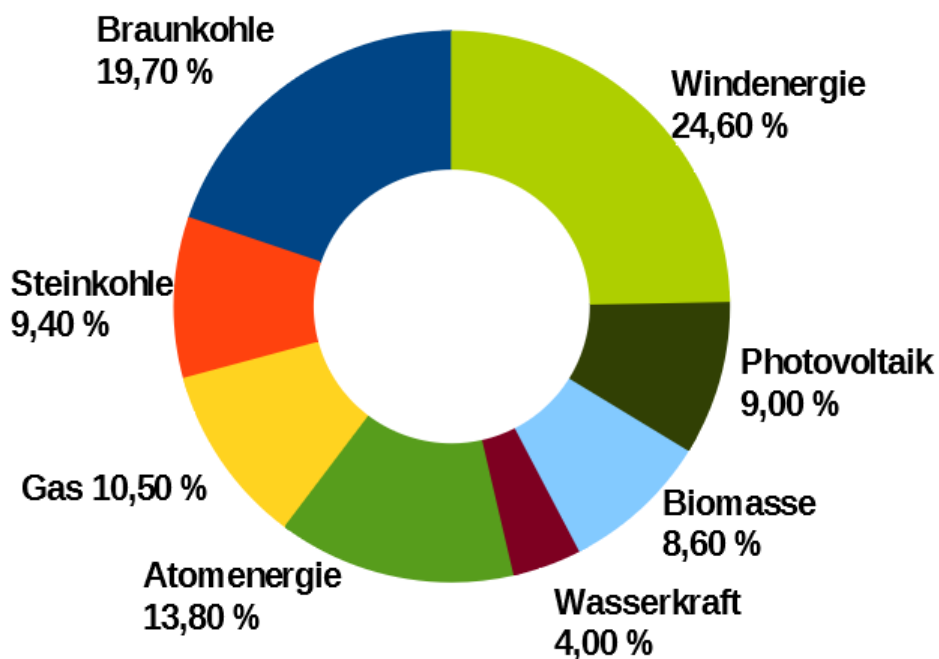


Abbildung 1: Nettostromverbrauch in Deutschland in 2019, gesamt 515,6 TWh, Daten nach [ISE20]

Ist Wasserstoff tatsächlich eine „Wunderwaffe“ im Kampf gegen die Klimakatastrophe? Bevor man diese Frage beantwortet, sollte man zunächst einen Blick auf das energetische Mengengerüst werfen. Im Jahr 2019 lag der

Endstromverbrauch in Deutschland bei 516 TWh³. Davon wurden 46 % oder 236 TWh mit Hilfe von Erneuerbaren Energien erzeugt. Die Photovoltaik erreichte einen Anteil von 9 % und die Windkraft einen Anteil von 24,6 % [ISE20] (Abbildung 1). Der Biomasseanteil hatte allerdings mit 8,6 % schon die Grenze zur Nachhaltigkeit erreicht. Der Ausbau sind aber ein schöner Erfolg. Allerdings nur auf den ersten Blick. Er wird schnell relativiert, wenn man bedenkt, dass der gesamte Endenergieverbrauch in Deutschland seit Jahren bei rund 2500 TWh liegt⁴ (Abbildung 2). Er umfasst nicht nur die Kohle für die Stromerzeugung, sondern auch die Energie, die in Kohle, Öl und Gas für die Industrie, den Verkehr, das Gewerbe und die Haushalte gespeichert ist. Wenn dieser gewaltige Energieverbrauch mit erneuerbarem Strom eins zu eins ersetzt werden soll, müssten die Windkraft- und die Solaranlagen in Deutschland mindestens um den Faktor 10 ausgebaut werden. Das ist aber noch nicht alles: Die Herstellung von Wasserstoff mittels Elektrolyse ist mit rund 30 % Energieverlusten verbunden. Dazu kommt ein weiteres spezifisches Problem: Um Wasserstoff transportieren zu können, muss er entweder unter hohem Druck verflüssigt werden oder er muss vorübergehend an bestimmte Kohlenwasserstoffe angedockt werden (LOHC-Technik⁵). Bei diesen Verfahren

3 Der Endstromverbrauch umfasst den Strom, den vor allem die Industrie, das Gewerbe und die privaten Haushalte nutzen. Der Bruttostromverbrauch erfasst zusätzlich die Leitungs- und Umspannverluste des Stroms. Sie können mit etwa 7 % kalkuliert werden und sind noch auf den Nettostrom aufzuschlagen. In 2019 lag der Bruttostromverbrauch in Deutschland bei 570,5 TWh [Sta20].

4 In 2016 lag der Endenergieverbrauch in Deutschland bei 2542 TWh [AGE17].

5 Als flüssige Wasserstoffträger eignen sich sog. LOHC (Liquid organic hydrogen carriers). Daran wird Wasserstoff (H₂) vorübergehend chemisch gebunden. Eine möglich Substanz ist der Kohlenwasserstoff Dibenzyltoluol. An diese Substanz dockt Wasserstoff an und kann so bei normalem Umgebungsdruck (1 bar) und Normaltemperatur (T=20°C) gelagert werden. Der so gespeicherte Wasserstoff ist nicht flüchtig und es findet auch keine Selbstentladung statt. Das LOHC kann beliebig oft mit Wasserstoff be- und entladen werden. Bei der H₂-Beladung des LOHC mit Wasserstoff wird Wärme freigesetzt, die abgeführt werden muss. Bei der Rückgewinnung des Wasserstoffs muss wieder Wärme hinzugefügt werden. Die Temperatur liegt zwischen 250 bis 300° C. Ein Liter LOHC kann in Form von H₂ eine Kilowattstunde elektrischer und eine Kilowattstunde thermischer Energie speichern [LOH20]. Der Wirkungsgrad des Verfahrens wird mit 69,17% angegeben [Wan16].

Mit Wasserstoff zum grünen Kapitalismus?

muss ebenfalls von rund 30 % Verlusten ausgegangen werden. Rechnet man beides zusammen, also Herstellung und Transport, dann ist die Wasserstofftechnologie mit einem Energieverlust von 50 % verbunden. Wenn man also eine Wasserstoffmenge mit einem Energieinhalt von beispielsweise 500 TWh herstellen will, braucht man dazu einen Strom-Input von rund 1000 TWh. Gewaltige Verluste, die zuerst mal mit erneuerbarer Energie erzeugt werden wollen.

Das Unangenehme dabei: Nicht nur Prozesse in der Chemieindustrie und bei der Stahlerzeugung benötigen Wasserstoff. Auch schwere LKWs auf langen Strecken, Baufahrzeuge oder landwirtschaftliche Geräte sollten sinnvollerweise mit Wasserstoff betrieben werden. Das gilt sogar noch mehr für Flugzeuge oder Schiffe. Und in unserer kapitalistischen Gesellschaft nehmen der Schwertransport, die Schiffslogistik und Flugreisen immer mehr zu. Die Frage stellt sich: Können wir dafür überhaupt solche großen Mengen an erneuerbarer Energie bereitstellen?

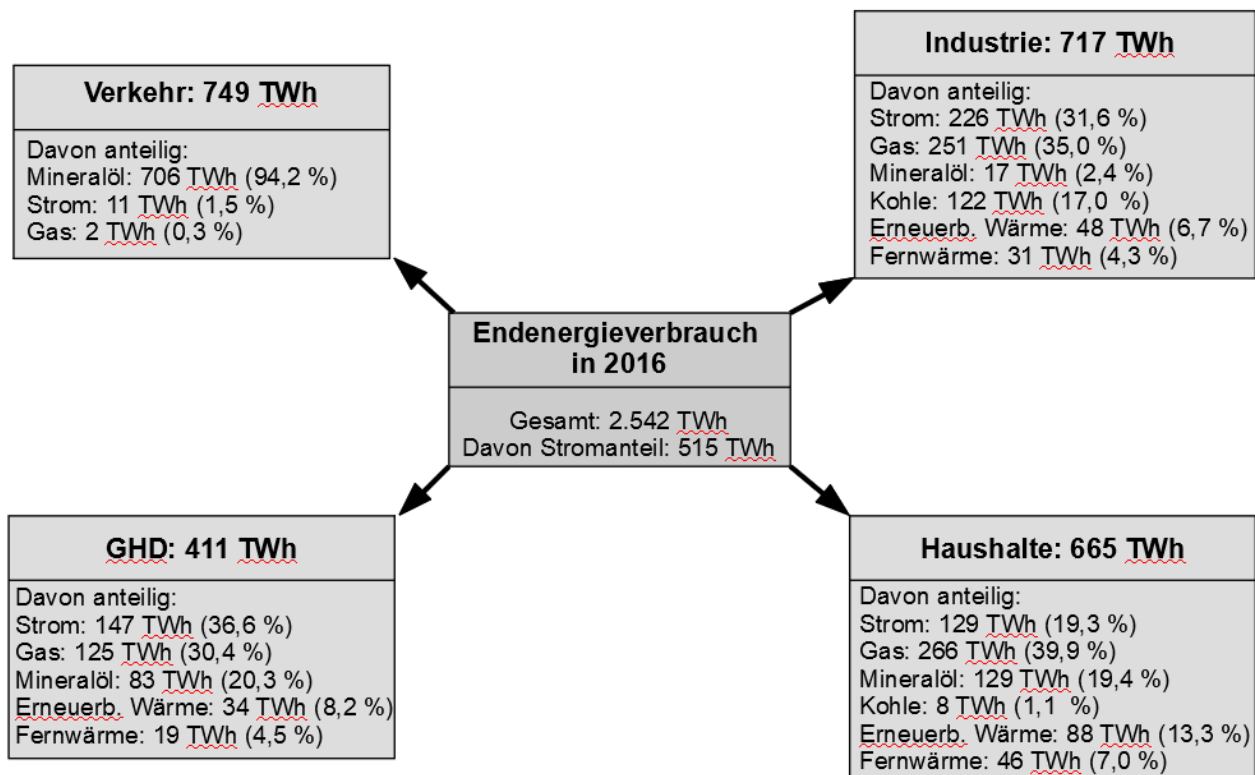


Abbildung 2: Endenergieverbrauch in Deutschland in 2016, nach [AGE17]

3. Eine gewaltige Energielücke tut sich auf

Werfen wir zur Beantwortung dieser Frage zunächst einen Blick auf Deutschland. Das Ökoinstitut geht in einer Berechnung aus 2019 davon aus, dass hierzulande mit Wind- und Solarenergie etwas über 700 TWh Strom erzeugt werden können. Dazu käme noch ein kleiner Anteil an Wärmeenergie, die gewonnen werden könnte. In jedem Fall klafft eine gewaltige Lücke gegenüber der heute verbrauchten Energiemenge von 2500 TWh. Es gibt allerdings zahlreiche Rechnungen von verschiedenen Instituten, die davon ausgehen, dass der Energieverbrauch bis 2050 deutlich abgesenkt werden könnte. So geht ein Klimaschutzszenario des Fraunhofer ISI und des Öko-Instituts aus dem Jahr 2015 davon aus, dass man in 2050 nur noch rund 1700 TWh an Primärenergie benötigen würde [Öko15]. Die Begründung: Einsparungen durch die Verwendung von Elektroautos statt Verbrennern und von Wärmepumpen statt Öl- und Gasheizungen. Und dazu eine deutlich verbesserte Hausisolation und allerlei Effizienzeffekte. Zu einem Teil mag die Rechnung realistisch sein (E-Autos und Wärmepumpen). Aber viele Rechnungen sind unübersichtlich und es drängt sich einem der Eindruck auf, dass hier schöngerechnet wird, ohne die Auswirkungen der realen kapitalistischen Wirtschaft zu berücksichtigen. So werden viele Effizienzgewinne im Konsumgüterbereich (Fernseher, Kühlschränke, Verbrauch von Fahrzeugen etc.) von den Konzernen immer wieder hintertrieben. Beispielweise sank der spezifische Treibstoffverbrauch von Autos durch eine verbesserte Technik. Aber gleichzeitig wurden die Karossen in den letzten Jahren immer größer und PS-stärker. Auch in den Haushalten ist die Zahl der elektrischen Geräte immer mehr gewachsen und erhielten zusätzlich energieintensive Sonderfunktionen. Und bei der Hausisolation und der Förderung von Wärmepumpen fährt die Bundesregierung mit angezogener Handbremse. Einen Eindruck von der tristen Wirklichkeit der versprochenen Effizienzgewinne liefert ein Blick auf den deutschen Energieverbrauch. Da konnte in den letzten 10 Jahren nur noch eine geringe Reduktion festgestellt

werden.

4. Riesige Wasserstoffmengen importieren – welche Grenzen?

Aber wird nicht immer wieder gesagt, dass allein die Sonnenenergie, die auf die Sahara fällt, bei einer Abdeckung mit Solaranlagen die 7000-fache Verbrauchsmenge ganz Europas ausmacht? Altmaiers Papier zur „Nationalen Wasserstoffstrategie“ knüpft an dieser gerne geäußerten Vorstellung an. Über 80 % des benötigten Wasserstoffs soll importiert werden. Vor allem aus Nordafrika und aus der EU. Auch die Bundesforschungsministerin Anja Karliczek unterstützt diese Position. Sie erklärte: „Wir können die Energie, die wir künftig in Europa brauchen, nicht vollständig selbst erzeugen. Deutschland wird auf jeden Fall ein großer Importeur von Energie bleiben.“ [Was19]. Sie denkt dabei an eine Kooperation mit süd- und westafrikanischen Staaten oder auch Australien. Der deutsche Entwicklungsminister Peter Müller, orientiert mehr auf erneuerbar hergestellten Wasserstoff aus Marokko [Was19]. Im Juni unterzeichnete er mit Regierungsvertretern des nordafrikanischen Landes eine Kooperationsvereinbarung zum Thema Wasserstoff.

Aber selbst wenn in Marokko oder Tunesien große Solaranlagen in der Sahara aufgebaut werden sollten, es bleibt die Schwierigkeit des Energietransports. Im Papier der „Nationalen Wasserstoffinitiative“ wird über einen Flüssiggastransport gesprochen. Doch es müssten riesige Mengen Wasserstoff importiert werden, die zuvor aus erneuerbarem Strom hergestellt werden müssten. Die dafür erforderliche Elektrolyse hat einen schlechten Wirkungsgrad von etwa 70 %. Dazu müsste der Wasserstoff noch verflüssigt werden, bei -240° C und einem extrem hohen Druck [Wik20]. Bei der Verflüssigung von Wasserstoff würden dann weitere 30 % seines Energieinhaltes verloren gehen [Bos10]. Dazu kommen noch weitere Verluste

beim Umfüllen und beim Transport von etwa 3 % pro Transporttag⁶.

Geringere Verluste würde man erhalten, wenn man Wasserstoff vor Ort zunächst in Methan umwandeln und dann transportieren würde. Aber auch das ist kein Königsweg, denn die Gesamtverluste lägen dann bei 56%⁷.

Die Desertec-Initiative⁸ propagierte einen Transport des erneuerbaren Stroms aus Nordafrika nach Deutschland mittels Hochspannungsgleichstrom-Übertragung (HGÜ). Damit sollten rund von 15 % des europäischen Stromverbrauchs aus Marokko oder Tunesien nach Europa importiert werden. Auf Deutschlands Stromverbrauch bezogen wäre das eine Größenordnung von etwas über 100 TWh. Aber auch damit käme man selbst bei einer sehr

6 Beim Transport kommt es zu einer unvermeidbaren Verdampfung des Wasserstoffs. Um einen Druckaufbau zu vermeiden, muss dieser Wasserstoff abgelassen werden. Das sind die sogenannten Boil-Off-Verluste.

7 Der erneuerbare Strom müsste zunächst in einem Elektrolyseverfahren in Wasserstoff umgewandelt werden. Das Gas müsste danach für den Transport in Schiffstanks noch verflüssigt werden. Da Wasserstoff dafür ungeeignet ist, müsste er mit Hilfe von Kohlendioxid in Methan umgewandelt werden. Erst danach käme die Verflüssigung und der Schiffstransport. In Deutschland erfolgte dann wieder eine Regasifizierung. Der gesamte Prozess ist mit erheblichen Verlusten belastet. Das Umweltbundesamt hat eine Studie [UBA17] für den Transport von Flüssiggas (Liquified natural gas - LNG) aus Nordafrika nach Nordeuropa erstellt, die genau diese Ergebnisse liefert. Danach liegt der Wirkungsgrad der Elektrolyse bei 72 %, die Methansynthese bei 80 % und der LNG-Transport inklusive Verflüssigung liegt bei 77 %. Zusammen wäre das ein Wirkungsgrad von extrem geringen 44 %. Das bedeutet umgekehrt energetische Verluste von 56 %. Das hat zur Folge, dass man für 500 TWh erneuerbares Import-LNG im Herkunftsland zunächst 1136 TWh erneuerbaren Strom herstellen müsste. Damit wäre noch nicht einmal geklärt, woher man das CO₂ für die Methanisierung des Wasserstoffs nimmt.

8 Die ursprüngliche Idee von Desertec bestand darin, bis 2050 rund 15 % des in Europa verwendeten Stroms aus der Sahara zu beziehen [Des09]. Das sollte im wesentlichen mit thermischen Solarkraftwerken (CSP-Concentrated Solar Power) gelingen. Dafür gründete sich eine Desertec-Stiftung, die diese Idee popularisieren wollte. Daneben entstand eine Desertec-Industrie-Initiative (DII), die sich Gewinne aus Wüstenstrom versprach. Als Photovoltaik-Anlagen wesentlich preisgünstiger als CSP-Kraftwerke wurden, war die bisherige Planung hinfällig. Die DII löste sich angesichts der vorhandenen Probleme und der voraussichtlichen Kosten auf.

großzügigen Rechnung zusammen mit dem heimischen Wind- und Photovoltaik-Strom sowie direkter Solarwärme bestenfalls auf etwas über 1000 TWh⁹. Das bedeutet, dass die gewaltigen Energiemengen, die heute in Deutschland verbraucht werden, mit einer nachhaltigen Herstellung absolut jenseits des Erreichbaren liegen. Was bleibt ist eine deutliche Reduzierung des Verbrauchs. Das bedeutet, dass im Land industriell abgerüstet werden muss, dass aber gleichzeitig die erneuerbaren Energien massiv auszubauen sind. Mindestens auf 700 bis 800 TWh¹⁰. Auf die deutsche Regierung kann man dabei nicht setzen. Sie sollte eigentlich seit 30 Jahren wissen, dass zur Vermeidung der Klimakatastrophe die Energieversorgung und der Energieverbrauch des Landes komplett umstrukturiert werden müssten. Aber sie hat keine Antworten und schiebt alle Probleme vor sich her.

9 Dazu eine hypothetische Rechnung: Sicherlich könnte man mittels Hochspannungs-gleichstromübertragung (HGÜ) Solar- und Windstrom aus Nordafrika nach Deutschland übertragen. Marokko würde sich als politisch eher stabiles Land anbieten. HGÜ ist heute Stand der Technik und die Übertragungsverluste wären sehr gering. Die Kosten pro Kilometer HGÜ-Freileitung können mit 983 Euro pro MW und Kilometer angenommen werden [FFE14]. Dazu kommen noch die Wandlungskosten von Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt an den beiden Leitungsenden von insgesamt 240.000 € pro MW. Bei einer Landstrecke von 3300 km beispielsweise zwischen Agadir (Marokko) und Frankfurt/M. wären das für 10 GW rund 35 Milliarden Euro Kosten. Damit könnten bei angenommenen 8.000 Stunden Stromübertragung pro Jahr 80 TWh erneuerbarer Strom nach Deutschland geliefert werden. Deutschland bräuchte aber mindestens 1500 TWh Strom aus Nordafrika. Nur dann würde sich die Deckungslücke zwischen dem heute wahnwitzig hohen deutschen Energieverbrauch und den Möglichkeiten der eigenen Ökostromerzeugung schließen. Die HGÜ-Kosten wären dann mit 656 Mrd. Euro keine Petitesse mehr. Und noch eine kleine Zahl: Marokko hat heute mit seinen rund 36 Millionen Einwohnern einen Stromverbrauch von 29 TWh. Woher also diese riesige erneuerbare Strommenge so schnell nehmen? Übrigens: Auch die anderen europäischen Industrieländer bräuchten ja nach der Importlogik nordafrikanischen Strom...

10 Der Leiter des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE), Andreas Bett, geht davon aus, dass Deutschland zukünftig 1000 bis 1200 TWh erneuerbaren Strom benötigt, also eine Verdoppelung gegenüber der heutigen Stromerzeugung [Bet19]. Er geht aber davon aus, dass außer der Wärmeerzeugung auch der Autoverkehr elektrifiziert wird.

5. Konkurrenzfähigkeit wichtiger als Klimaschutz?

Ein weiteres Problem ist, dass in der kapitalistischen Ökonomie auf absehbare Zeit fossile Energieträger deutlich billiger sind, als grüner Wasserstoff. Konzerne werden daher weiter auf fossile Energieträger setzen. Ein Beispiel ist die Stahlindustrie: Thyssenkrupp oder die Salzgitter AG könnten ihre Stahlherstellung mit Hilfe von Wasserstoff statt mit Koks zwar relativ einfach dekarbonisieren. Aber die Unternehmen verlangen für die Umstellung großzügige Staatshilfen. Sprich: Die Steuerzahler sollen alles bezahlen und die Konzerne fühlen sich nur für die Profite zuständig. Da wäre es gleich sinnvoller, die Stahlindustrie zu vergesellschaften und die Produktion klimaneutral umzubauen. Auch die Arbeitsplätze könnten dann gesichert werden, indem die vorhandene Arbeit auf alle Hände verteilt wird.

6. Klimaschutz erreichen: Eine einfache Wahrheit

Fassen wir zusammen: Der Einsatz von Wasserstoff ist sinnvoll, um wichtige Bereiche der Industrie (Stahl, Chemie) zu dekarbonisieren. Als Speichertechnologie könnte damit auch die Stromproduktion in wind- und sonnenarmen Jahreszeiten gesichert werden. Aber die herstellbare und importierbare Wasserstoffmenge wird niemals ausreichen, um den heutigen deutschen Energieverbrauch eins zu eins zu ersetzen. Die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung lässt diese Problematik geflissentlich unter den Tisch fallen. Statt reale Möglichkeiten zu nutzen, setzt sie auf unerfüllbare technologische Phantastereien. Realistisch wäre es, klar zu sagen, dass der deutsche Energieverbrauch drastisch eingeschränkt werden muss. Z.B. durch eine Umstellung des Autoindividualverkehrs auf den ÖPNV oder durch die Abkehr von kurzlebigen, nicht reparierbaren Konsumgütern. Dazu: Weniger Bauen, weniger Beton und dafür mehr Holzbau. Auch der Verpackungswahn mit Plastik und Papier muss drastisch reduziert werden. Warum die Bundesregierung dies nicht will dürfte klar sein: Diese Maßnahmen würden in der Folge zu einem deutlichen Absinken der industriellen Produktion

Mit Wasserstoff zum grünen Kapitalismus?

führen. Der Kapitalismus funktioniert aber nur mit Wachstum. Schon bei einer konstanten Produktionsmenge kommt sein Wirtschaftsmotor ins Stottern. Das gilt umso mehr bei einem massiven Rückbau. Da die Bundesregierung das weiß und sie gleichzeitig ihren Freunden in den Vorstandstagen von Banken und Konzernen verpflichtet ist, ist von ihr kein ernsthafter Klimaschutz zu erwarten. Stattdessen schwadroniert sie über eine „nationale Wasserstoffstrategie“ als einem Allheilmittel. Die einfache Wahrheit lautet dagegen: Klimaneutralität kann nur durchgesetzt werden, wenn parallel zur Einführung von Klimaschutzmaßnahmen der Kapitalismus überwunden wird.

Quellen:

- [AGE17] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Endenergieverbrauch 2016 nach Sektoren und Energieträgern, Stand 09/2017
- [Bau20] Michael Bauchmüller: Wasserstoff Grüner Knüller, Süddeutsche Zeitung 12.06.2020
- [Bet19] Wir stellen Weltrekorde auf, Interview mit Andreas Bett, Leiter des Fraunhofer Instituts ISE, Süddeutsche Zeitung, 17.12.2019
- [Bos06] Ulf Bossel: Wasserstoff löst keine Energieprobleme, Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis, 1 (15) April 2006, S. 27ff.
- [Des09] Größtes Solarprojekt der Welt nimmt Gestalt an, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 13.07.2009
- [FFE14] Forschungsstelle für Energiewirtschaft FFE e.V.: Kurzgutachten zum Kostenvergleich Stromtransport, Hybridnetz (Power-to-Gas) vs. HGÜ-Leitung , 2014
- [Ind18] Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Autoren: Tom Smolinka, Nikolai Wiebe, Philip Sterchele, Andreas Palzer, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE / Freiburg – DeutschlandBerlin, 2018
- [ISE20] Fraunhofer ISE: Nettostromerzeugung in Deutschland in 2019, Nettostromerzeugung von Kraftwerken zur öffentlichen Stromversorgung. letztes Update: 10 Jan 2020
- [LOH20] LOHC-Technologie macht Wasserstoff zum sicheren Stromspeicher, H2-Industries SE, München, h2-industries.com
- [Öko15] Öko-Institut; Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050 Berlin, 26.11.2015
- [Sta20] Bruttostromverbrauch in Deutschland bis 2019, [A. Breitkopf](#), 21.01.2020, Statista 2020
- UBA17] Klimaschutz und regenerativ erzeugte chemische Energieträger – Infrastruktur und Systemanpassung zur Versorgung mit regenerativen chemischen Energieträgern aus in- und ausländischen regenerativen Energien, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2017
- [Wan16] Hewu Wang et.al.: Efficiency analysis of novel Liquid Organic Hydrogen Carrier technology and comparison with high pressure storage pathway, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41, Issue 40, October 2016
- [Was19] Wasserstoff soll die Energiewende retten, Frankfurter Allgemeine Zeitung, S. 18, Nr. 231, 05.10.2019
- [Wik20] Wasserstoffspeicherung, Wikipedia, de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffspeicherung#Flüssigwasserstoffspeicherung