

# Wasserstofftechnologie- Hoffnungsträger in der Katastrophenpolitik?

geschrieben von Admin | 24. Oktober 2024

## Jürgen Langeheine

Vorbereitet durch die Aussagen des Club of Rome fand die vom „Weltklimarat“, dem IPCC (International Panel of Climate Control) verbreitete Vorhersage einer „menschengemachten Klimakatastrophe“ Eingang in die Politik. Diese Vorhersage führte über, zahlreiche Klimakonferenzen zu der Forderung einer völligen Dekarbonisierung der Weltwirtschaft, wie sie dann 2011 durch den deutschen „Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU)“ unter Vorsitz von Prof. Schellenhuber mit dem Titel „Welt im Wandel- Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ vorgestellt wurde.

Die Vorhersagen von künftigen katastrophalen Klima- und Wetterereignissen, auf die sich die Politik stützt, beruhen auf Modellen, die für diesen Zweck nachweislich ungeeignet sind. Keine der seit einigen Dekaden vom IPCC benutzten Modellrechnungen konnte zukünftige Entwicklungen vorhersagen und vergangene Klimaänderungen begründen. Sie genügen in keiner Weise wissenschaftlichen Anforderungen. Die schweren Wetterphänomene wie Hitze, Tornados, Dürren und Überschwemmungen liegen auch heute noch in der Bandbreite der Ereignisse vergangener Jahrzehnte.

Die Dekarbonisierung und die Reduktion des Energieverbrauchs beherrschen die politische Ausrichtung westlich orientierter Staaten. Dabei wird vergessen, dass die eigentliche menschengemachte Katastrophe, die der Club of Rome vorhersagte, in der ungesteuerten Bevölkerungsentwicklung liegt.

Das Wachstum der Erdbevölkerung ist ungebrochen. Während die Erde im Jahr 1900 knapp 2 Milliarden Menschen beherbergte, leben heute fast 8 Milliarden Menschen auf unserem Planeten.

In den zurückliegenden Dekaden ist die Erdbevölkerung im Mittel um 800 Millionen Menschen in jeder Dekade gestiegen. Bei gleichbleibender Rate bedeutet das, dass die Erdbevölkerung 2100 auf 14 Milliarden Menschen ansteigen wird, also fast eine Verdoppelung des jetzigen Wertes.

Demgegenüber sagen neueste Hochrechnungen der UNO, dass die Weltbevölkerung Ende des 21. Jahrhunderts einen stabilen Wert erreichen wird. Dann sollen ca. 11 Milliarden Menschen die Erde bewohnen. Das sind

schon ca. 50% mehr als heute (s.Abb.1). Die Voraussetzung dafür ist jedoch eine rasche wirtschaftliche Entwicklung in Ländern mit niedrigem Einkommen.

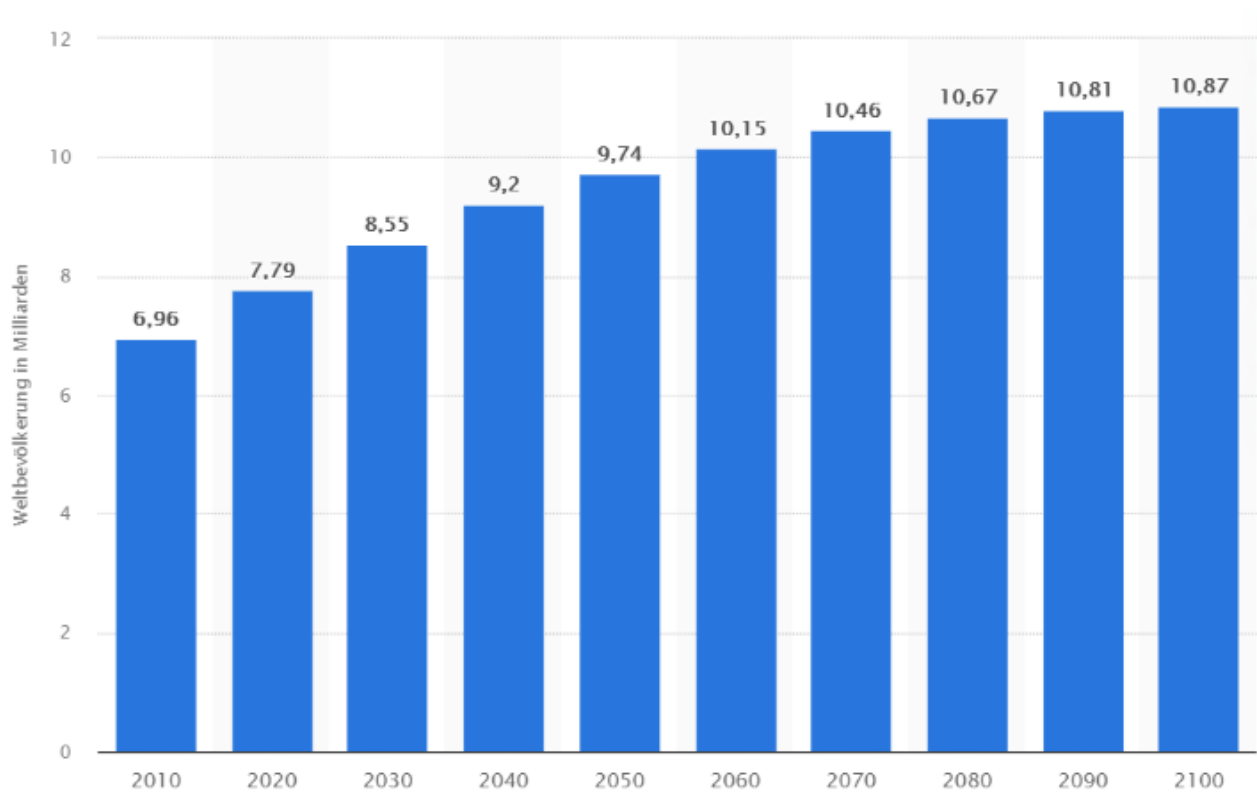


Abb.1 Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung nach Statista 2021 und UN DESA (Population Division)

Die Bevölkerungsentwicklung wird maßgeblich durch die zur Verfügung stehende Energie beeinflusst, s. Abb.2. Sie steuert direkt oder indirekt die Geburten-, Sterbe- und Migrationsraten.

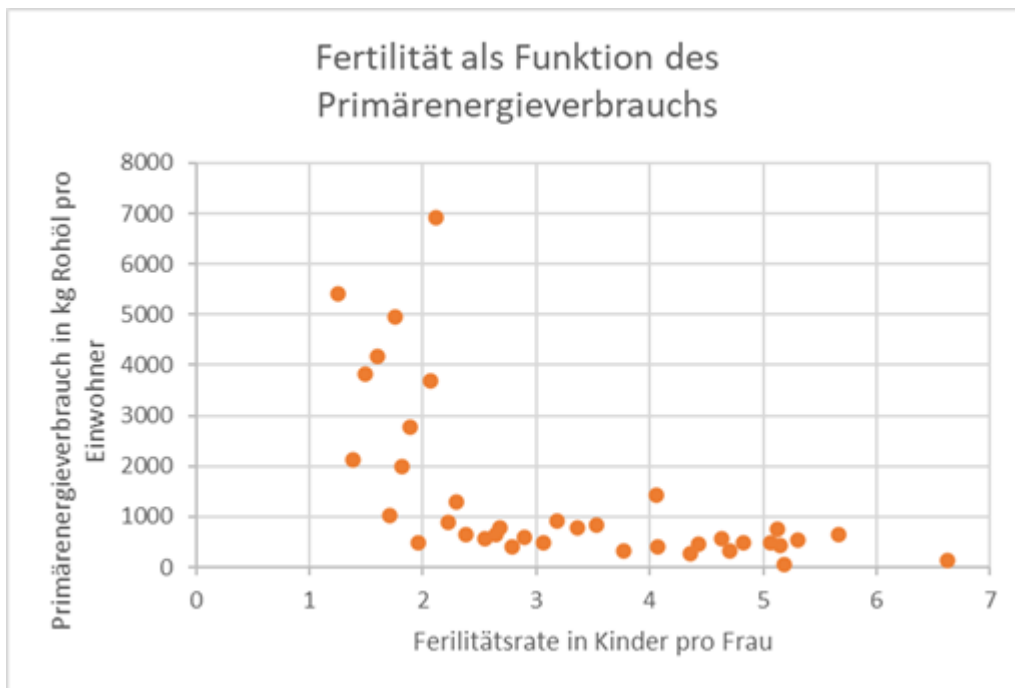


Abb. 2 Fertilität als Funktion des Primärenergieverbrauchs

Für eine stabile Bevölkerungszahl sollte die Fertilitätsrate knapp oberhalb von 2 Kindern pro Frau liegen. Oberhalb einer Verbrauchsschwelle von ca. 2000 kg Rohöl pro Einwohner und Jahr, entsprechend 24.000 kWh (Kilowattstunden) pro Einwohner und Jahr, wird dieser Wert sicher erreicht, und die Geburtenrate sinkt auf den Wert der Sterberate. (2000 kg Rohöl pro Einwohner und Jahr entsprechen 24.000 kWh). Das Wachstum ist gestoppt.

Im Jahr 2020 verbrauchte die Menschheit mit 7,6 Milliarden Menschen ca. 580 EJ (Exa Joule). Im Durchschnitt steigt dieser Wert um ca. 10 EJ pro Jahr. Auf elektrische Energie umgerechnet sind das 0,161 Millionen TWh. Eine TWh entspricht einer Billion Wh (Wattstunden). Dieser Wert entspricht einem gemittelten Energieverbrauch von ca. 22.000 kWh pro Jahr und Einwohner, also nicht sehr weit unter dem bevölkerungskritischen Wert von 24.000 kWh.

Der Energieverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2019 bei 2.500 TWh. Das sind 1,55% des weltweiten Energieverbrauchs und ist bei einer Bevölkerung von 80 Millionen gleichbedeutend mit einem Energieverbrauch von ca. 30.000 kWh pro Jahr .

Die Verteilung ist länderbezogen sehr ungleich. Eine Analyse zeigt, dass heute ca. 40% der Erdbewohner (ca. 3 Milliarden Menschen) ca.75% der gesamten Primärenergie jährlich verbrauchen. Das bedeutet einen pro Kopf- Verbrauch von ca. 40.000 kWh pro Jahr. Die restlichen 60% (ca. 4,4 Milliarden Menschen) leben mit einem mittleren Primärenergieverbrauch von ca. 5.500 kWh pro Einwohner und Jahr und damit weit unter dem bevölkerungskritischen Wert von 24.000 kWh.

Die Anhebung des Primärenergieverbrauchs dieser 4,4 Milliarden Menschen

auf den Wert von 24.000 kWh würde eine Erhöhung des weltweiten Primärenergiebedarfs um 81.000 TWh (um ca. 50%) auf ca. 0.24 Millionen TWh bedeuten.

Die Anhebung des Primärenergieverbrauchs der gesamten 7,6 Milliarden Menschen auf Werte auf 40.000 kWh pro Jahr und Einwohner ergibt mit einem Primärenergieverbrauch von 0,3 Millionen TWh die unvorstellbare Verdoppelung des jetzigen Energieverbrauchs.

Obwohl der Weg klar aufgezeigt wird, wie die Bevölkerungsentwicklung der Erde in einen stabilen Zustand überführt und die wirklich menschengemachte Katastrophe verhindert werden kann, wird er nicht beschränkt.

Stattdessen wurde auf der Grundlage eines angebliche menschengemachten Klimawandels der „Green Deal“ in der EU und der „Great Reset“ in den Vereinigten Staaten ins Leben gerufen.

Der Energieverbrauch soll weltweit drastisch reduziert und die Energieversorgung auf kohlendioxidfreie Energiequellen, wie Solarzellen, Windkraftanlagen und Bioenergieanlagen umgestellt werden.

Der „Green Deal“ der EU (s.Tab 1) sieht u.a. vor, durch Reduktion des Kohlendioxids in der Energieerzeugung eine sog. Klimaneutralität der EU bis 2050 zu erreichen. Das Ziel ist, die angeblich von Menschen gemachte Klimaveränderung auf eine Temperaturerhöhung von unter 2° C gegenüber der sog. vorindustriellen Zeit zu senken, um die Zukunft der Menschheit zu retten.

Diese 2° C Grenze und die bereits diskutierte 1,5° C Grenze sowie ihre Abhängigkeit von der Kohlendioxidkonzentration in der Luft sind durch keine belastbaren Messungen abgesichert und stammen aus vom IPCC verbreiteten, unzureichenden Computermodellen.

*Klimawandel und Umweltzerstörung sind existenzielle Bedrohungen für Europa und die Welt. Mit dem europäischen Green Deal wollen wir daher den Übergang zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft schaffen, die bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr ausstößt, ihr Wachstum von der Ressourcennutzung abkoppelt und niemanden, weder Mensch noch Region, im Stich lässt.*

Tab.1 Ziele des „Green Deals“

Der bis 2050 angestrebte Net-Zero Zustand ist nach dem BP-Energy-Outlook 2020 nur erreichbar, wenn der globale jährliche Energieverbrauch 620 EJ, entsprechend 0,171 Millionen TWh, nicht übersteigt. Das ist deutlich weniger als erforderlich wäre, um die Bevölkerungsentwicklung in einen stabilen Zustand zu überführen. s. Abb.2

Das Bevölkerungswachstum geht also unvermindert weiter und führt unvermeidbar in eine jetzt menschengemachte Katastrophe.

Das Versprechen, weder Mensch noch Region im Stich zu lassen stellt sich damit als unerfüllbares Versprechen im „Green Deal“ – Vertrag dar.

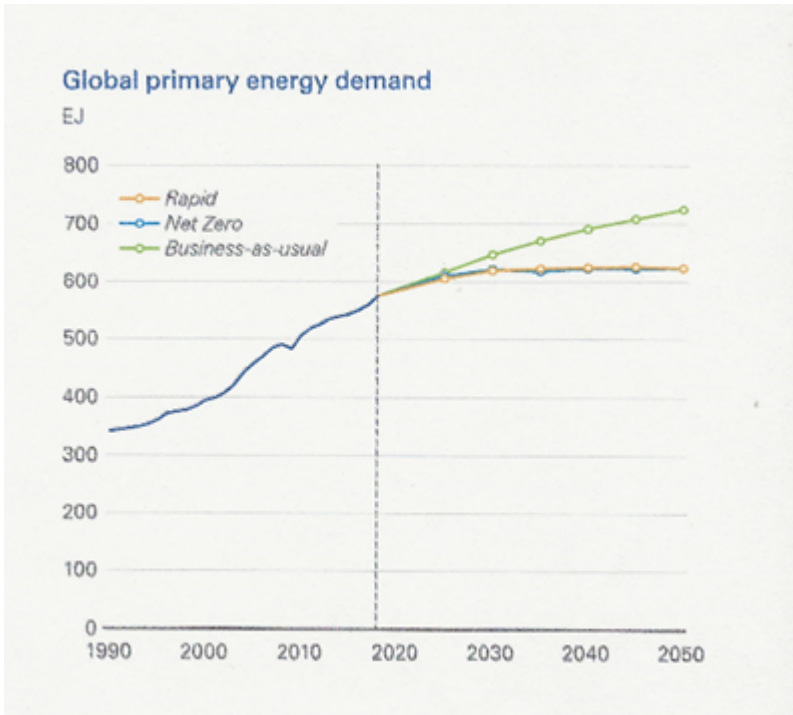


Abb. 3 Mögliche Entwicklungen des globalen Energiebedarfs

( BP-Energy-Outlook 2020)

Inzwischen kann der Bevölkerung nicht mehr glaubhaft vermittelt werden, dass man mit Solarzellen, Windkraftanlagen und Bioenergieanlagen eine ausreichende und verlässliche energetische Versorgung für Industriestaaten sicherstellen kann.

Ohne die Zustimmung der Bevölkerung jedoch ist die angestrebte Umstellung der Energieversorgung auf sog. Erneuerbare Energien, (die es im physikalischen Sinn gar nicht gibt. Energie kann man nicht erneuern. Man kann nur eine Energieform in die andere umwandeln), zum Scheitern verurteilt.

Um trotzdem die Energieumstellung plausibel zu machen und keinen Zweifel an der angeblich den Planeten rettenden Energiewende aufkommen zu lassen, wurde die Wasserstoffinitiative ins Leben gerufen.

In Europa haben die Europäische Kommission und 27 Europäische Staaten 2018 diese Initiative beschlossen. Durch die Zusammenarbeit und das große Marktvolumen der EU soll der durch Elektrolyse und elektrische Energie aus Windkraft- und Solaranlagen gewonnene Wasserstoff

wettbewerbsfähig gemacht und als Ersatz für natürliche kohlenstoffhaltige Energiequellen eingesetzt werden.

Auf den ersten Blick scheint die Wasserstofftechnologie den Durchbruch beim Einsatz der „Erneuerbaren Energien“ zu bringen.

Wasserstoff hat einen hohen Energieinhalt, wird aus Wasser gewonnen, verbrennt zu Wasser, lässt sich speichern, und lässt sich transportieren.

Wasserstoff scheint also wie geschaffen, die heutigen Energieträger zu ersetzen.

Leider ist der Einsatz nicht so einfach, wie er erscheint, wenn sowohl die Technik als auch die Kosten einer eventuellen Umstellung der Energieversorgung eines Landes -oder geträumt der Erde- detaillierter betrachtet werden.

Wasserstoff wird je nach seiner Herstellung mit den Farben gekennzeichnet, die in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Grüner Wasserstoff, nur über Elektrolyse mit Strom aus Windkraftanlagen oder Fotovoltaik-Anlagen hergestellt, ist die angestrebte Endlösung. Er wird als das Öl von morgen gepriesen. Alle anderen Farb-Varianten des Wasserstoffs sollen als Zwischenlösungen für die Einführung der Wasserstofftechnologie so lange dienen, bis ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung steht.

Kennzeichnung der Wasserstoffquellen					
Farbe		Herstellverfahren			
grün		Elektrolyse von Wasser wobei ausschließlich Strom aus "erneuerbaren Energien" zum Einsatz kommt (Windenergie, Fotovoltaik, Bioenergie)			
gelb		Elektrolyse von Wasser mit Strom aus nicht "erneuerbaren Energien"			
weiß		Gewinnung über Fracking			
grau		Gewinnung aus fossilen Rohstoffen, in der Regel aus Erdgas durch Dampfreforming (Dabei wandelt sich Erdgas in Wasserstoff und Kohlendioxid um)			
blau		Ist grauer Wasserstoff, bei dem das Kohlendioxid abgeschieden und gespeichert wird ( Carbon Capture and Storage CCS)			
türkis		Wird aus Methan durch thermische Spaltung gewonnen ( Methanpyrolyse), Dabei entsteht fester Kohlenstoff, Ruß			

Tabelle 2: Farben des Wasserstoffs

Vordergründig wird die hohe Energiedichte des Wasserstoffs angeführt (33,3 kWh/kg). Demgegenüber hat Dieseltreibstoff eine Energiedichte von 11,9 kWh/kg und Benzin eine solche von 11,4 kWh/ kg, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist. Diese Tabelle zeigt aber auch, dass Wasserstoff nur bei Temperaturen unter -253 °C flüssig ist, wogegen Diesel zwischen -20°C und +141°C, Benzin zwischen -45°C und +30°C flüssig sind, sich also im „normalen“ Temperaturbereich im flüssigen Zustand befinden. In diesem „normalen“ Bereich ist Wasserstoff gasförmig und hat eine Dichte von 0,09 kg/m<sup>3</sup>. Wasserstoff kann unter Druck verflüssigt werden und hat z. B. bei 700 bar und 20°C eine Dichte von 71,4 kg/m<sup>3</sup>, während die Dichte von Diesel und Benzin bei diesen Temperaturen 830 kg/m<sup>3</sup> bzw. 750kg/m<sup>3</sup> beträgt, also etwa um den Faktor 12 bzw. 10 höher ist.

<b>Eigenschaften einzelner Treibstoffe</b>						
<b>Verbindung</b>	<b>Zustand</b>	<b>Temperatur °C</b>	<b>Dichte kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Heizwert kWh/m<sup>3</sup> kWh/kg</b>	<b>Wirkungsgrad</b>	
Wasserstoff	gasförmig	>-253	0,09	3	0,64	
H <sub>2</sub>	flüssig	> -259	71,4	33,3		
Methan	gasförmig	>-162	0,65	9,07	0,38	
CH <sub>4</sub>	flüssig	>-182	423	13,94		
Ammoniak	gasförmig	>-33	0,72	3,74	0,37	
NH <sub>3</sub>	flüssig	>-78	682	5,2		
Methanol	flüssig	>-98	790	5,47	0,38	
CH <sub>4</sub> O						
LOHC						
Dibenzyltoluol	flüssig	>-34	1044	1,41		
Diesel	flüssig	>-20	ca. 830	11,9	0,43	
Benzin	flüssig	>-45	ca.750	11,4		

Tab.3: Eigenschaften wasserstoffhaltiger Treibstoffe

Ein kleines Rechenbeispiel:

Für ein Dieselfahrzeug bei einem Verbrauch von 7 Liter /100 km benötigt man für eine Reichweite von 700 km ein Tankvolumen von 49 Liter, entsprechend einem Energieinhalt von 484 kWh. Will man einen entsprechenden PKW mit Wasserstoff betreiben, benötigt dieser für die gleiche Strecke 14,6 kg Wasserstoff. Dafür ist ein Tankvolumen von 204 Litern erforderlich bzw. das 4-fache Volumen gegenüber einem Dieseltank. Bringt man den aus drucktechnischen Gründen erforderlichen zylindrischen Tank in ein rechteckiges Verstauvolumen, so sind dafür ca. 280 Liter im Fahrzeug nötig.

Da im Allgemeinen im Fahrzeugbau mit technisch beanspruchtem Raum geheizt wird, ist das höhere Verstauvolumen bei wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen ein gewichtiger Nachteil.

Wasserstoff ist ein sehr explosives Gas. Beim Mischen mit Luft zu 4 bis 76 Volumenprozent Wasserstoff entsteht Knallgas. In einem ausgewogenen, stöchiometrischen Verhältnis von Sauerstoff und Wasserstoff kann eine



Knallgasexplosion verheerende Wirkung haben. (Die Explosion einer kurz zuvor in Betrieb genommenen Wasserstofftankstelle in Gersthofen, sowie einer zwecks Gasversorgung an eine Elektrolyse angeschlossenen Produktion von Isoliermaterial in Wunsiedel, Bayern, macht die Gefahr beim Umgang mit Wasserstoff deutlich.)

Wird Wasserstoff in einfachen Metalltanks oder -leitungen gelagert, so kommt es wegen der geringen Atom- und Molekülgröße zur Diffusion, das heißt, Gas tritt durch die Gefäßwände aus. Dies ist u.a. für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge von Bedeutung, wenn diese länger an einem abgeschlossenen Platz stehen. Spezielle Drucktanks bzw. Leitungen (faserverstärkte Kunststoffe mit Inlinern) sind für den sicheren Transport und Lagerung des Gases erforderlich, ein weiterer Nachteil für den Fahrzeugbau.

Die geringe Größe der Wasserstoffmoleküle begünstigt die Diffusion zwischen den Gitterplätzen in Stählen. Dadurch können Degradationsprozesse, im Wesentlichen Versprödung, in Pipeline-Stählen und Dichtungen beschleunigt werden, die zu Leckagen und letztendlich zum Versagen der Pipeline führen können.

Kleine Wasserstofflecks sind für die menschlichen Sinne schwer wahrnehmbar, da Wasserstoff farblos, geruchlos und geschmacklos ist. In Erdgas werden üblicherweise Geruchsstoffe wie Mercaptane ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ) verwendet, um Lecks zu erkennen. Es ist jedoch nicht möglich, diese Stoffe in einen Wasserstoffstrom einzubringen, insbesondere wenn der transportierte Wasserstoff zur Versorgung von Brennstoffzellen oder Wasserstofffahrzeugen verwendet wird. Die Katalysatoren in diesen Brennstoffzellen sind äußerst empfindlich gegenüber Schwefelverbindungen.

Das Fehlen eines Geruchsstoffs zur Leckage Erkennung ist ein Problem für die Wasserstoffverteilung.

Wasserstoff nimmt als Gas unter Normaldruck ein extrem großes Volumen ein (330 Liter / kWh). So kann man das Gas weder sinnvoll speichern noch transportieren. Bei niedrigen Drücken kann Wasserstoff nur mit Kolbenverdichtern transportiert werden, Turboverdichter können erst bei höheren Drücken ab 7 bar eingesetzt werden. Daher wird Wasserstoff entweder unter hohen Druck versetzt (0,75 Liter pro kWh bei 700 bar) oder er wird verflüssigt (0,42 Liter/ kWh bei  $-253\text{ }^\circ\text{C}$ ). Weder so hohe Drücke, noch so tiefe Temperaturen sind für große Mengen leicht handhabbar und vor allem mit hohen Kosten verbunden. Daher gibt es Überlegungen, den Wasserstoff chemisch zu binden, um ihn leichter transportieren zu können.

Ob es nun LOHC (liquid organic hydrogen carrier), eine organische Flüssigkeit, die in der Lage ist, Wasserstoff zu binden (Hydrierung), Power Paste, ein neuerdings vom Fraunhofer Institut in die Diskussion eingebrachtes flüssiges Gel auf Magnesium-Wasserstoffbasis, Methan,

Methanol oder Ammoniak ist, leiden sie alle neben ungelösten technischen Problemen daran, dass der energetische Wirkungsgrad auf Werte deutlich unter 40% sinkt.

Noch sind die Mengen von grünem Wasserstoff auf dem Markt verschwindend klein. Im Jahr 2021 lag die weltweite Wasserstoffproduktionsmenge laut Handelsblatt bei 94,23 Millionen Tonnen. Davon waren nur 30.000 Tonnen „grün“ produziert. Im vergangenen Jahr hat sich diese Menge auf 90.000 Tonnen verdreifacht, was aber immer noch ein sehr, sehr geringer Anteil an der Gesamtproduktion ist.

Derzeit verbraucht die Industrie in Deutschland jährlich etwa 1,8 Mio. Tonnen Wasserstoff, die einer Energiemenge von etwa 55 bis 60 TWh entsprechen.

(1 TWh =  $1 \cdot 10^9$  kWh oder 1 Milliarde kWh)

Abb. 4 zeigt den gesamten Energiebedarf Deutschlands für die Jahre 1991 bis 2019:

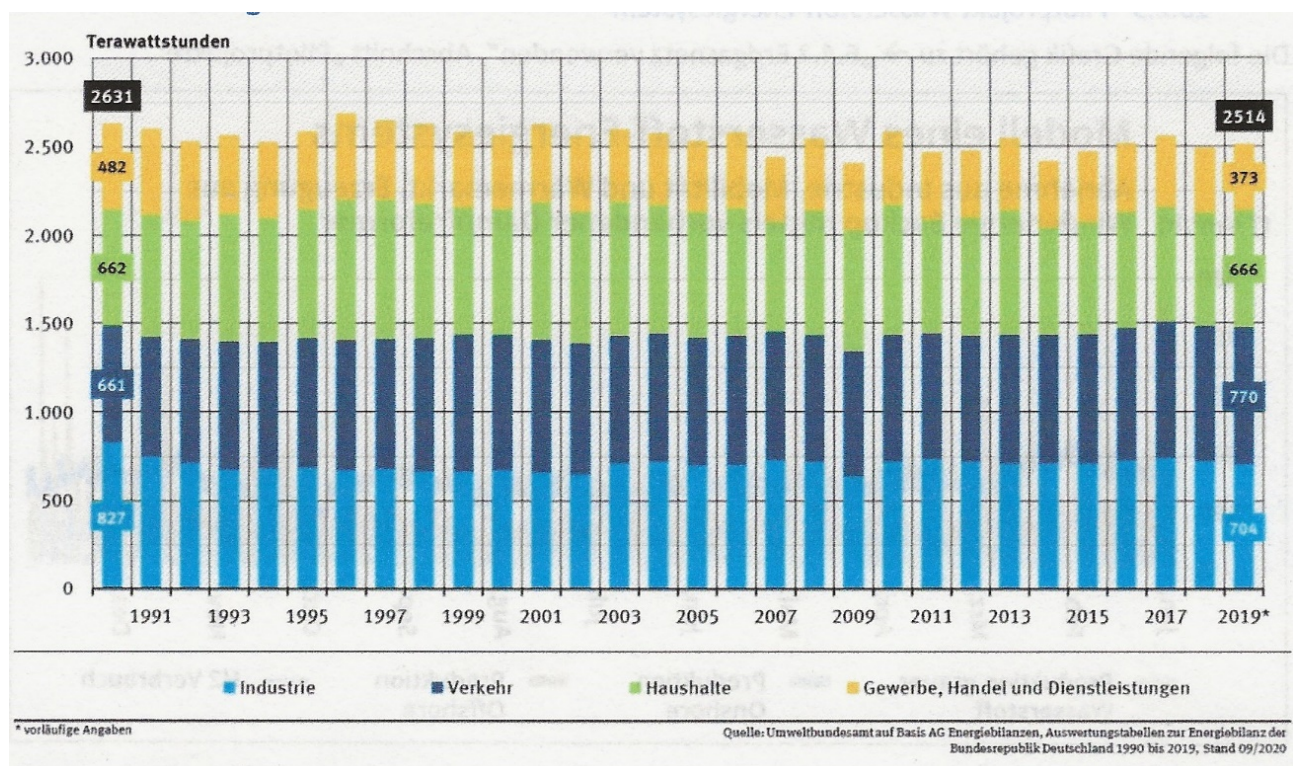


Abb. 4: Energieverbrauch Deutschlands nach Sektoren.

Trotz massivem finanziellen Aufwand für die Energieeinsparung hat sich im Laufe der in Abb.4 dargestellten 30 Jahre der gesamte Energieverbrauch nur von 2.631 auf 2.514 Terrawattstunden reduziert (ca. 5% Verringerung), im Wesentlichen erreicht durch einen geringeren Energieverbrauch im industriellen Sektor.

Betrachtet man den Gesamtenergiebedarf Deutschlands mit ca. 2.500 TWh/a, die sich auf Strom mit ca. 600 TWh/a, Verkehr auf 750 TWh/a und Wärme mit 1.150 TWh/a verteilen, so müssen bei unverändertem Gesamtenergiebedarf und unter der heute noch nicht bewiesenen Annahme, dass der Strom absolut kohlendioxidfrei erzeugt wird, langfristig 1.800 Milliarden kWh/a durch Wasserstoff ersetzt werden. Das erfordert eine Produktion von ca. 60 Milliarden kg Wasserstoff pro Jahr oder 60 Millionen Tonnen Wasserstoff/ Jahr allein für Deutschland.

Für grünen Wasserstoff im industriellen Maßstab kommt als Herstellungsverfahren nur die Elektrolyse von Wasser in Frage. Da Deutschland seine Kernkraftwerke stillgelegt hat und auch die Kohlekraftwerke abschalten will, muss eine entsprechende Zahl von Windkraftanlagen bzw. Photovoltaikanlagen als Energiequelle dienen.

Der Wirkungsgrad des eingesetzten Stroms bezogen auf den Brennwert des Wasserstoffs liegt bei heutigen Elektrolyseanlagen bei ca. 65%. Unter Zugrundelegung dieses Wirkungsgrades für die Elektrolyse ist eine elektrische Eingangsleistung von ca. 3.000 Milliarden kWh/a bzw. 3.000 TWh/a erforderlich, die zudem ständig verfügbar sein muss, eine Forderung, die bei Windkraft- und Solaranlagen keineswegs gewährleistet ist.

Die gesamte installierte Leistung von Photovoltaik- und Windkraftanlagen betrug im Jahr 2020 ca. 116 GW oder 116 Milliarden Watt.

Mit 1 GW installierter Leistung werden pro Jahr durchschnittlich ca. 1,5 TWh/a erzeugt. Bei 8.720 Stunden pro Jahr ergibt das eine Ausbeute von 17,5% der installierten Nennleistung von Windkraft- und Photovoltaikanlagen.

Im Jahr 2020 lag die gesamte Produktion bei ca. 200 TWh.

Das bedeutet, dass ein Ausbau der installierten Leistung von Windkraft- und Solaranlagen gegenüber dem Stand von 2020 auf mehr als das 15 -fache erfolgen müsste.

Der nötige Ausbau ist weder flächenmäßig zu erreichen noch politisch durchsetzbar und vor allem nicht bezahlbar, wie eine kurze Überschlagsrechnung für Windkraftanlagen zeigt.

Heute sind in Deutschland ca. 30.000 Windkraftanlagen mit einer Leistung von 69.500 MW installiert. Die Installation einer Windkraftanlage mit einer Leistung von 6 MW erfordert Investitionen von ca. 12 Millionen €, die sich aus ca. 8 Millionen € für die Windkraftanlage incl. Fundament und ca. 4 Millionen € für Infrastruktur- Netzanbindungs- und Genehmigungskosten zusammensetzen.

sodass für die Installation von 1 GW Investitionen von ca. 2Milliarden €

erforderlich sind. Für die existierenden 116 GW ist bereits eine Investition von 230 Milliarden € erfolgt, weitere 3,2 Billionen € wären erforderlich, allein um die elektrische Versorgung der Wasserstoffherstellung sicherzustellen.

Zu diesen Strombereitstellungskosten kommen noch die Investitionen für die Elektrolyseanlagen, die heute bei ca. 1.000 €/kW liegen. Das Fraunhofer Institut geht von einer Kostenreduktion bis 2030 auf ca. 400 €/kW aus, s. Abb. 5.

## Euro pro kW für Wasserelektrolyse im Jahr 2030

09.02.2022 / Solarserver / Elektrolyse / Forschung

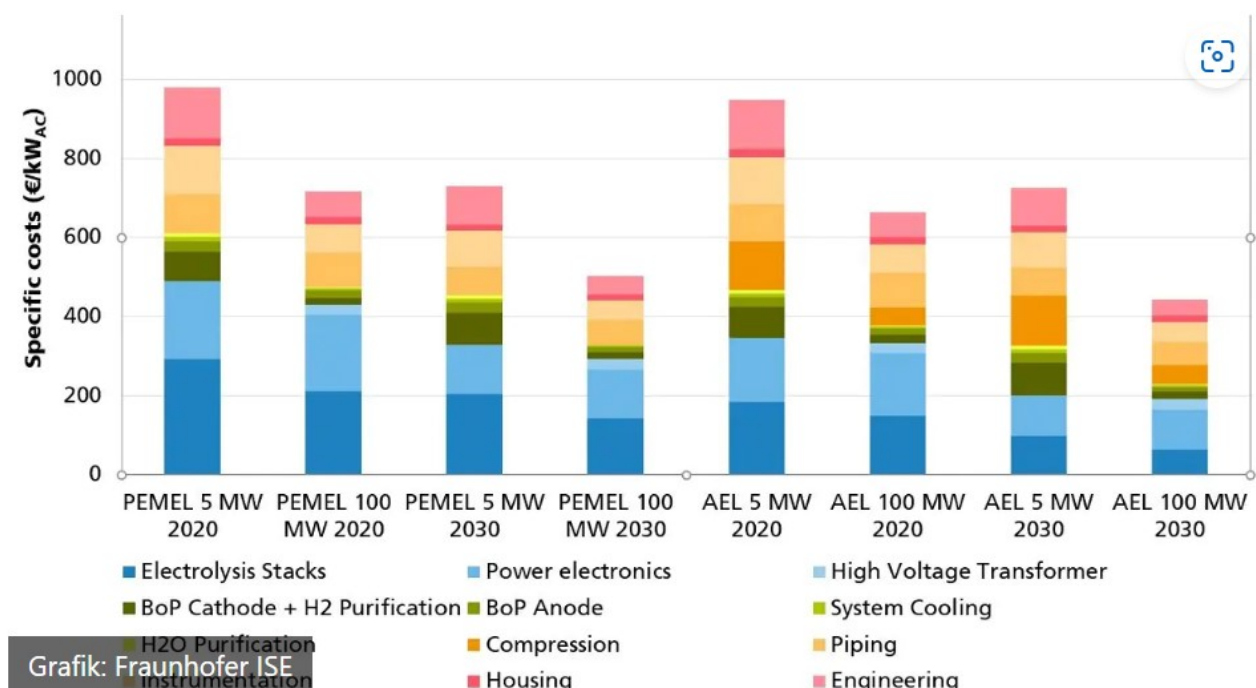


Abb. 5: Investitionskosten pro kW

Geht man von diesen Werten aus und legt den Erfahrungswert von 17,5%, also ca. 1.500h pro Jahr für die reine Produktionszeit zugrunde, so sind für die Abdeckung der umzustellenden 1.800 TWh/a Investitionen von ca. 500 Milliarden für die Elektrolyse erforderlich.

Die geschätzten Investitionskosten summieren sich damit auf ca. 4 Billionen €.

Allein, um diese Anlagen in Betrieb zu halten, fallen bei Betriebskosten von 2% (eine optimistische Annahme) Kosten von ca. 800 Milliarden €/Jahr an.

Das ist ein für Deutschland nicht finanzierbares Vorhaben.

Die Bundesregierung hat dieses Problem wohl erkannt und versucht nun grünen Wasserstoff zu importieren, um ihr energetisches Kernprojekt, die Versorgung Deutschlands über kohlenstofffreie Energiequellen langfristig sicher zu stellen und die Wasserstofftechnologie durchzusetzen.

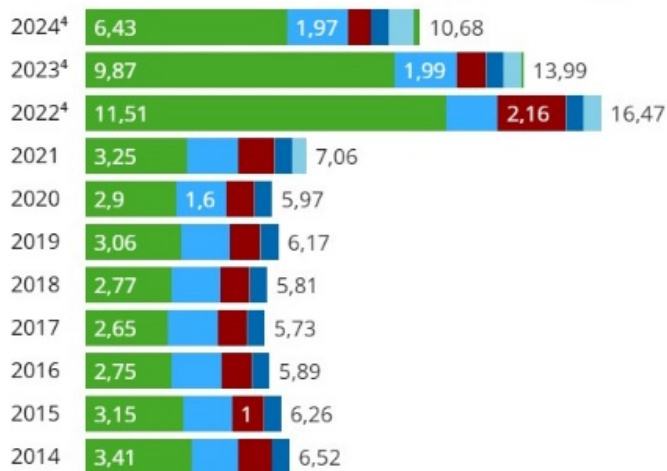
Ausarbeitungen des Fraunhofer Instituts zu den Kosten des importierten Wasserstoffs weisen Werte von 0,15 €/kWh aus Nordafrika, 0,18 €/kWh aus Südamerika aus. Bis 2050 soll dieser Wert auf 0,09 €/kWh sinken. Die Beschaffungs- und Vertriebskosten würden dann immer noch um den Faktor 3 deutlich höher sein als sie vor den Rußlandsanktionen mit ca. 0,03€/kWh waren.

Aktuell liegen diese Kosten bei 0,065€/kWh, wie aus Abb. 6 zu erkennen ist.

### Erdgaspreis für Haushalte (EFH) in ct/kWh

Durchschnittlicher Erdgaspreis für einen Haushalt in ct/kWh, Ein-Familienhaus (EFH), Erdgas-Zentralheizung mit Warmwasserbereitung, jeweils aktuelle Sondervertragskumentarife<sup>1</sup> im Markt, Jahresverbrauch 20.000 kWh, Grundpreis anteilig enthalten, nicht mengengewichtet

■ Beschaffung, Vertrieb   
 ■ Netzentgelt inkl. Messung und Messstellenbetrieb   
 ■ Mehrwertsteuer  
■ Konzessionsabgabe<sup>1</sup>   
 ■ Erdgassteuer   
 ■ CO2-Preis<sup>2</sup>   
 ■ Gasspeicherumlage<sup>3</sup>   
 Summe



<sup>1</sup> Heizgas-Kunden sind i. d. R. Sondervertragskunden mit geminderter Konzessionsabgabe (0,03 ct/kWh)

<sup>2</sup> der CO2-Preis bildet die Kosten für den Erwerb von CO2-Emissionshandelszertifikaten gemäß BEHG ab und ist bis Ende 2025 ein gesetzlich festgelegter Festpreis.

<sup>3</sup> 2023: Mischwert 1.Hj. 0,059 ct/kWh, 2.Hj. 0,145 ct/kWh

<sup>4</sup> MwSt. 7%; 2022 nur im 4. Quartal MwSt. 7%

Stand: 01/2024

Quelle BDEW • Daten • Einbetten • Grafik

**bdew**

Abb. 6: Erdgaspreise für Haushalte

Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan. Es liegt nahe, den Wasserstoff in Methan umzuwandeln und das modifizierte Erdgasnetz zur Energiespeicherung und Versorgung zu nutzen. Dies scheitert an den Kosten, wie nachfolgende Stellungnahme des Fraunhofer Instituts zeigt.

*Synthetisches Methan und Öl kosten anfänglich in Europa etwa 20 bis 30*



*Cent pro Kilowattstunde. Die Kosten können bis 2050 auf etwa 10 Cent je Kilowattstunde sinken, wenn ausreichend Kapazitäten für die globale Power-to-Gas-/Power-to-Liquid-Umwandlung vorhanden sind.*

*Die avisierten Kostensenkungen bedingen erhebliche frühzeitige und kontinuierliche Investitionen in Elektrolyseure und CO<sub>2</sub>-Absorber. Diese sind ohne politische Intervention oder eine hohe CO<sub>2</sub>-Bepreisung nicht zu erwarten, denn die Herstellungskosten für synthetische Brennstoffe sind dauerhaft höher als die Förderkosten ihrer fossilen Alternativen.*

Es bleibt auch hier nach Investitionen in Höhe von Billionen € nur eine Hoffnung auf Heizgaskosten, die im Vergleich zum Jahr 2020 um den Faktor 3-4 höher sind.

Weder mengenmäßig noch bezüglich der zu erwartenden Kosten ist eine vollständige Umstellung auf Wasserstofftechnologie sinnvoll.

Auch wenn die Wasserstofftechnologie mit Hilfe staatlicher Investitionen in einige Wirtschaftsbereiche vordringen wird, in denen sie heute aus technischen und wirtschaftlichen Gründen noch nicht verbreitet ist, wird diese Technologie allein aus Kostengründen eine Nischentechnologie bleiben. Für die Energieversorgung eines Industrielandes wie Deutschland bzw. die weltweite Energieversorgung bieten nur die kostengünstigeren traditionellen Energiequellen, wie Kernenergie und fossile Brennstoffe den erforderlichen finanziellen Spielraum, um die wirtschaftliche Entwicklung in den Industrieländern zu stabilisieren, Ländern mit niedrigem Einkommen eine Entwicklungschance zu geben und damit der wirklich drohenden Katastrophe, dem ungesteuerten Bevölkerungswachstum, entgegenzuwirken.

Die ungelösten technischen Probleme bei der Herstellung und Speicherung von grünem Wasserstoff in den erforderlichen Mengen und die zu erwartenden Kosten für den Aufbau der Infrastruktur und den Unterhalt dieser Technologie werden der Bevölkerung systematisch verschwiegen. Stattdessen wird der Bevölkerung auf der Basis unbewiesener Annahmen einer menschengemachten, durch Kohlendioxid hervorgerufenen Erderwärmung, die wirtschaftliche Grundlage entzogen.

Allein die jährlichen Betriebskosten für diese Technologie unter idealen Bedingungen von ca. achthundert Milliarden € pro Jahr nur für Deutschland, bedeuten einen Betrag in Höhe des doppelten derzeitigen Bundeshaushalts. Dieses Geld geht der Bevölkerung in Deutschland u.a. für soziale Aufgaben und Entwicklungshilfe verloren.

Rechnet man den Betrag von 800 Milliarden € allein auf westliche Industriestaaten hoch, landet man im mehrstelligen Billionenbereich.

Der Zugriff des Menschen auf preiswerte Energiesysteme setzt die Rahmenbedingungen, unter denen sich gesellschaftliche, ökonomische oder kulturelle Strukturen bilden können und bestimmt die Grundzüge einer Gesellschaft.

Die Umstellung der Energieversorgung auf Wasserstofftechnologie führt zu einer katastrophalen Verschlechterung der wirtschaftlichen Situation Deutschlands und, übertragen auf die weltweite Situation, zu wirtschaftlichem Niedergang und unlösbaren bevölkerungspolitischen Problemen, da sie durch zwangsläufig vergrößerten Energiemangel einem weiteren Wachstum der Weltbevölkerung Vorschub leistet.

090225

Wasserstofftechnologie-

Hoffnungsträger in der Katastrophenpolitik?

Jürgen Langeheine

Vorbereitet durch die Aussagen des Club of Rome fand die vom „Weltklimarat“, dem IPCC (International Panel of Climate Control) verbreitete Vorhersage einer „menschengemachten Klimakatastrophe“ Eingang in die Politik. Diese Vorhersage führte über, zahlreiche Klimakonferenzen zu der Forderung einer völligen Dekarbonisierung der Weltwirtschaft, wie sie dann 2011 durch den deutschen „Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU)“ unter Vorsitz von Prof. Schellenhuber mit dem Titel „Welt im Wandel- Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ vorgestellt wurde.

Die Vorhersagen von künftigen katastrophalen Klima- und Wetterereignissen, auf die sich die Politik stützt, beruhen auf Modellen, die für diesen Zweck nachweislich ungeeignet sind. Keine der seit einigen Dekaden vom IPCC benutzten Modellrechnungen konnte zukünftige Entwicklungen vorhersagen und vergangene Klimaänderungen begründen. Sie genügen in keiner Weise wissenschaftlichen Anforderungen. Die schweren Wetterphänomene wie Hitze, Tornados, Dürren und Überschwemmungen liegen auch heute noch in der Bandbreite der Ereignisse vergangener Jahrzehnte.

Die Dekarbonisierung und die Reduktion des Energieverbrauchs beherrschen die politische Ausrichtung westlich orientierter Staaten. Dabei wird vergessen, dass die eigentliche menschengemachte Katastrophe, die der Club of Rome vorhersagte, in der ungesteuerten Bevölkerungsentwicklung liegt.

Das Wachstum der Erdbevölkerung ist ungebrochen. Während die Erde im Jahr 1900 knapp 2 Milliarden Menschen beherbergte, leben heute fast 8 Milliarden Menschen auf unserem Planeten.

In den zurückliegenden Dekaden ist die Erdbevölkerung im Mittel um 800 Millionen Menschen in jeder Dekade gestiegen. Bei gleichbleibender Rate bedeutet das, dass die Erdbevölkerung 2100 auf 14 Milliarden Menschen ansteigen wird, also fast eine Verdoppelung des jetzigen Wertes.

Demgegenüber sagen neueste Hochrechnungen der UNO, dass die Weltbevölkerung Ende des 21. Jahrhunderts einen stabilen Wert erreichen wird. Dann sollen ca. 11 Milliarden Menschen die Erde bewohnen. Das sind schon ca. 50% mehr als heute (s. Abb.1). Die Voraussetzung dafür ist jedoch eine rasche wirtschaftliche Entwicklung in Ländern mit niedrigem Einkommen.

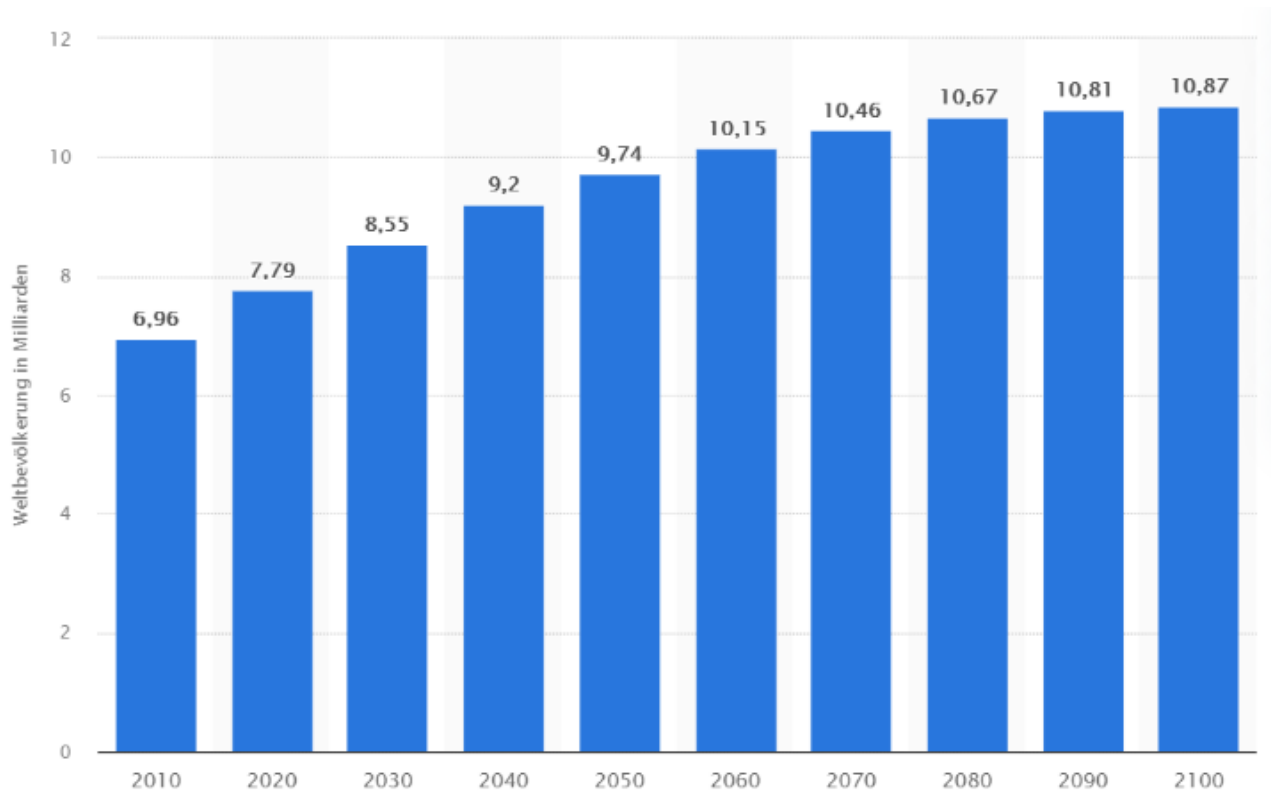


Abb.1 Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung nach Statista 2021 und UN DESA (Population Division)

Die Bevölkerungsentwicklung wird maßgeblich durch die zur Verfügung stehende Energie beeinflusst, s. Abb.2. Sie steuert direkt oder indirekt die Geburten-, Sterbe- und Migrationsraten.



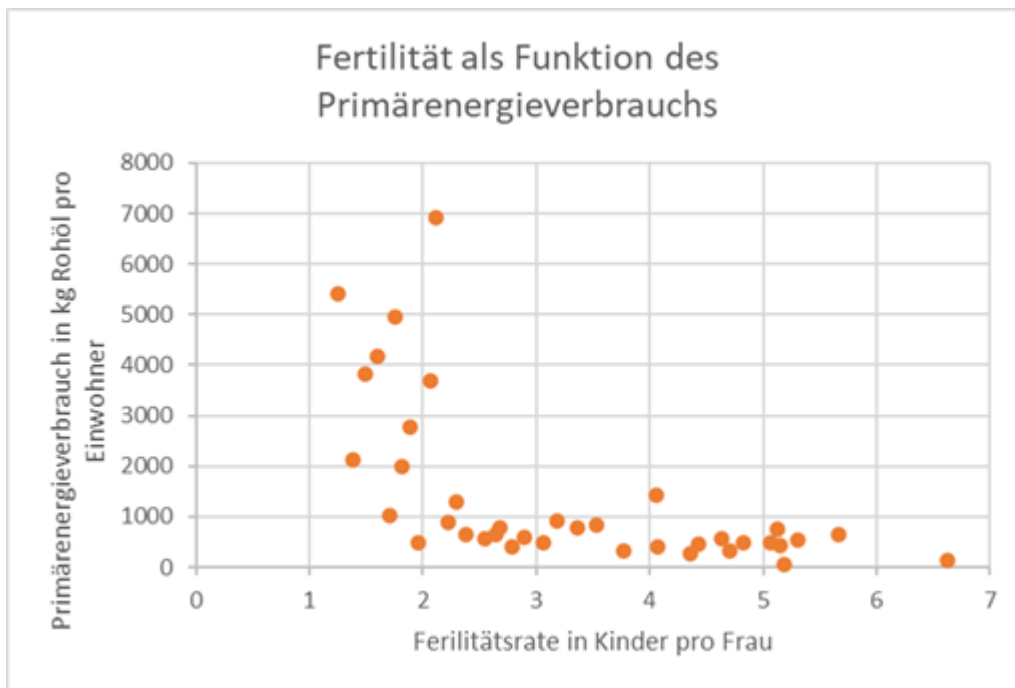


Abb. 2 Fertilität als Funktion des Primärenergieverbrauchs

Für eine stabile Bevölkerungszahl sollte die Fertilitätsrate knapp oberhalb von 2 Kindern pro Frau liegen. Oberhalb einer Verbrauchsschwelle von ca. 2000 kg Rohöl pro Einwohner und Jahr, entsprechend 24.000 kWh (Kilowattstunden) pro Einwohner und Jahr, wird dieser Wert sicher erreicht, und die Geburtenrate sinkt auf den Wert der Sterberate. (2000 kg Rohöl pro Einwohner und Jahr entsprechen 24.000 kWh). Das Wachstum ist gestoppt.

▪

Im Jahr 2020 verbrauchte die Menschheit mit 7,6 Milliarden Menschen ca. 580 EJ (Exa Joule). Im Durchschnitt steigt dieser Wert um ca. 10 EJ pro Jahr. Auf elektrische Energie umgerechnet sind das 0,161 Millionen TWh. Eine TWh entspricht einer Billion Wh (Wattstunden). Dieser Wert entspricht einem gemittelten Energieverbrauch von ca. 22.000 kWh pro Jahr und Einwohner, also nicht sehr weit unter dem bevölkerungskritischen Wert von 24.000 kWh.

Der Energieverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2019 bei 2.500 TWh. Das sind 1,55% des weltweiten Energieverbrauchs und ist bei einer Bevölkerung von 80 Millionen gleichbedeutend mit einem Energieverbrauch von ca. 30.000 kWh pro Jahr .

Die Verteilung ist länderbezogen sehr ungleich. Eine Analyse zeigt, dass heute ca. 40% der Erdbewohner (ca. 3 Milliarden Menschen) ca.75% der gesamten Primärenergie jährlich verbrauchen. Das bedeutet einen pro Kopf- Verbrauch von ca. 40.000 kWh pro Jahr. Die restlichen 60% (ca. 4,4 Milliarden Menschen) leben mit einem mittleren Primärenergieverbrauch von ca. 5.500 kWh pro Einwohner und Jahr und damit weit unter dem bevölkerungskritischen Wert von 24.000 kWh.

Die Anhebung des Primärenergieverbrauchs dieser 4,4 Milliarden Menschen auf den Wert von 24.000 kWh würde eine Erhöhung des weltweiten Primärenergiebedarfs um 81.000 TWh (um ca. 50%) auf ca. 0.24 Millionen TWh bedeuten.

Die Anhebung des Primärenergieverbrauchs der gesamten 7,6 Milliarden Menschen auf Werte auf 40.000 kWh pro Jahr und Einwohner ergibt mit einem Primärenergieverbrauch von 0,3 Millionen TWh die unvorstellbare Verdoppelung des jetzigen Energieverbrauchs.

Obwohl der Weg klar aufgezeigt wird, wie die Bevölkerungsentwicklung der Erde in einen stabilen Zustand überführt und die wirklich menschengemachte Katastrophe verhindert werden kann, wird er nicht besprochen.

Stattdessen wurde auf der Grundlage eines angebliche menschengemachten Klimawandels der „Green Deal“ in der EU und der „Great Reset“ in den Vereinigten Staaten ins Leben gerufen.

Der Energieverbrauch soll weltweit drastisch reduziert und die Energieversorgung auf kohlendioxidfreie Energiequellen, wie Solarzellen, Windkraftanlagen und Bioenergieanlagen umgestellt werden.

Der „Green Deal“ der EU (s.Tab 1) sieht u.a. vor, durch Reduktion des Kohlendioxids in der Energieerzeugung eine sog. Klimaneutralität der EU bis 2050 zu erreichen. Das Ziel ist, die angeblich von Menschen gemachte Klimaveränderung auf eine Temperaturerhöhung von unter 2° C gegenüber der sog. vorindustriellen Zeit zu senken, um die Zukunft der Menschheit zu retten.

Diese 2° C Grenze und die bereits diskutierte 1,5° C Grenze sowie ihre Abhängigkeit von der Kohlendioxidkonzentration in der Luft sind durch keine belastbaren Messungen abgesichert und stammen aus vom IPCC verbreiteten, unzureichenden Computermodellen.

*Klimawandel und Umweltzerstörung sind existenzielle Bedrohungen für Europa und die Welt. Mit dem europäischen Green Deal wollen wir daher den Übergang zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft schaffen, die*

*bis 2050 keine Netto-Treibhausgase mehr ausstößt,*

*ihr Wachstum von der Ressourcennutzung abkoppelt und*

*niemanden, weder Mensch noch Region, im Stich lässt.*

Tab.1 Ziele des „Green Deals“

Der bis 2050 angestrebte Net-Zero Zustand ist nach dem BP-Energy-Outlook 2020 nur erreichbar, wenn der globale jährliche Energieverbrauch 620 EJ, entsprechend 0,171 Millionen TWh, nicht übersteigt. Das ist deutlich

weniger als erforderlich wäre, um die Bevölkerungsentwicklung in einen stabilen Zustand zu überführen. s. Abb.2

Das Bevölkerungswachstum geht also unvermindert weiter und führt unvermeidbar in eine jetzt menschengemachte Katastrophe.

Das Versprechen, weder Mensch noch Region im Stich zu lassen stellt sich damit als unerfüllbares Versprechen im „Green Deal“ – Vertrag dar.

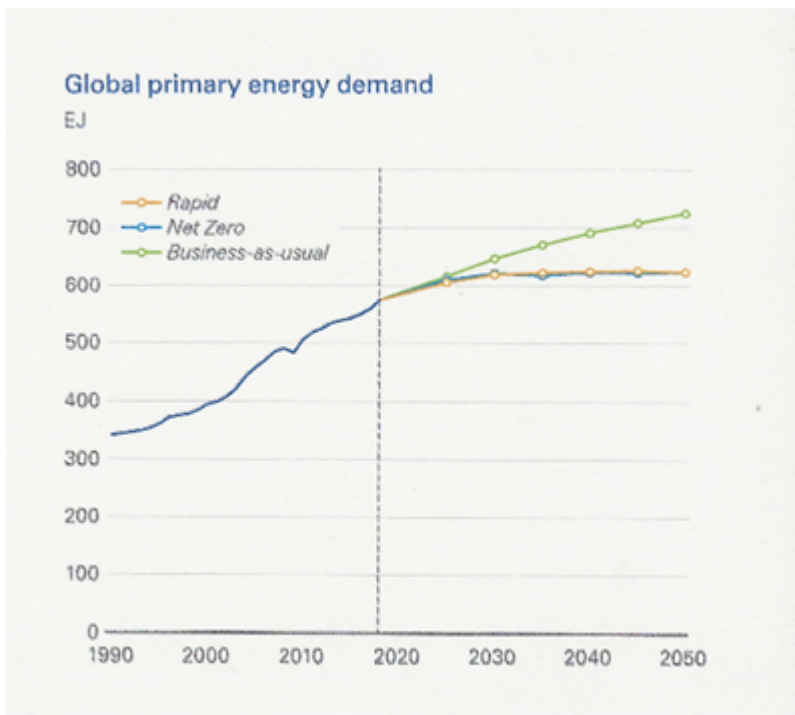


Abb. 3 Mögliche Entwicklungen des globalen Energiebedarfs

( BP-Energy-Outlook 2020)

Inzwischen kann der Bevölkerung nicht mehr glaubhaft vermittelt werden, dass man mit Solarzellen, Windkraftanlagen und Bioenergieanlagen eine ausreichende und verlässliche energetische Versorgung für Industriestaaten sicherstellen kann.

Ohne die Zustimmung der Bevölkerung jedoch ist die angestrebte Umstellung der Energieversorgung auf sog. Erneuerbare Energien, (die es im physikalischen Sinn gar nicht gibt. Energie kann man nicht erneuern. Man kann nur eine Energieform in die andere umwandeln), zum Scheitern verurteilt.

Um trotzdem die Energieumstellung plausibel zu machen und keinen Zweifel an der angeblich den Planeten rettenden Energiewende aufkommen zu lassen, wurde die Wasserstoffinitiative ins Leben gerufen.

In Europa haben die Europäische Kommission und 27 Europäische Staaten 2018 diese Initiative beschlossen. Durch die Zusammenarbeit und das große Marktvolumen der EU soll der durch Elektrolyse und elektrische Energie aus Windkraft- und Solaranlagen gewonnene Wasserstoff wettbewerbsfähig gemacht und als Ersatz für natürliche kohlenstoffhaltige Energiequellen eingesetzt werden.

Auf den ersten Blick scheint die Wasserstofftechnologie den Durchbruch beim Einsatz der „Erneuerbaren Energien“ zu bringen.

Wasserstoff hat

einen hohen Energieinhalt,

wird aus Wasser gewonnen,

verbrennt zu Wasser,

lässt sich speichern,

und lässt sich transportieren.

Wasserstoff scheint also wie geschaffen, die heutigen Energieträger zu ersetzen.

Leider ist der Einsatz nicht so einfach, wie er erscheint, wenn sowohl die Technik als auch die Kosten einer eventuellen Umstellung der Energieversorgung eines Landes -oder geträumt der Erde- detaillierter betrachtet werden.

Wasserstoff wird je nach seiner Herstellung mit den Farben gekennzeichnet, die in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Grüner Wasserstoff, nur über Elektrolyse mit Strom aus Windkraftanlagen oder Fotovoltaik-Anlagen hergestellt, ist die angestrebte Endlösung. Er wird als das Öl von morgen gepriesen. Alle anderen Farb-Varianten des Wasserstoffs sollen als Zwischenlösungen für die Einführung der Wasserstofftechnologie so lange dienen, bis ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung steht.

Tabelle 2: Farben des Wasserstoffs

Vordergründig wird die hohe Energiedichte des Wasserstoffs angeführt (33,3 kWh/kg). Demgegenüber hat Dieseltreibstoff eine Energiedichte von 11,9 kWh/kg und Benzin eine solche von 11,4 kWh/ kg, wie aus Tabelle 3 ersichtlich ist. Diese Tabelle zeigt aber auch, dass Wasserstoff nur bei Temperaturen unter  $-253\text{ °C}$  flüssig ist, wogegen Diesel zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+141\text{ °C}$ , Benzin zwischen  $-45\text{ °C}$  und  $+30\text{ °C}$  flüssig sind, sich also im „normalen“ Temperaturbereich im flüssigen Zustand befinden. In diesem „normalen“ Bereich ist Wasserstoff gasförmig und hat eine Dichte von  $0,09\text{ kg/m}^3$ . Wasserstoff kann unter Druck verflüssigt werden und hat z.

B. bei 700 bar und 20°C eine Dichte von 71,4 kg/m<sup>3</sup>, während die Dichte von Diesel und Benzin bei diesen Temperaturen 830 kg/m<sup>3</sup> bzw. 750kg/m<sup>3</sup> beträgt, also etwa um den Faktor 12 bzw. 10 höher ist.

### Tab.3: Eigenschaften wasserstoffhaltiger Treibstoffe

Ein kleines Rechenbeispiel:

Für ein Dieselfahrzeug bei einem Verbrauch von 7 Liter /100 km benötigt man für eine Reichweite von 700 km ein Tankvolumen von 49 Liter, entsprechend einem Energieinhalt von 484 kWh. Will man einen entsprechenden PKW mit Wasserstoff betreiben, benötigt dieser für die gleiche Strecke 14,6 kg Wasserstoff. Dafür ist ein Tankvolumen von 204 Litern erforderlich bzw. das 4-fache Volumen gegenüber einem Dieseltank. Bringt man den aus drucktechnischen Gründen erforderlichen zylindrischen Tank in ein rechteckiges Verstauvolumen, so sind dafür ca. 280 Liter im Fahrzeug nötig.

Da im Allgemeinen im Fahrzeugbau mit technisch beanspruchtem Raum geheizt wird, ist das höhere Verstauvolumen bei wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen ein gewichtiger Nachteil.

Wasserstoff ist ein sehr explosives Gas. Beim Mischen mit Luft zu 4 bis 76 Volumenprozent Wasserstoff entsteht Knallgas. In einem ausgewogenen, stöchiometrischen Verhältnis von Sauerstoff und Wasserstoff kann eine Knallgasexplosion verheerende Wirkung haben. (Die Explosion einer kurz zuvor in Betrieb genommenen Wasserstofftankstelle in Gersthofen, sowie einer zwecks Gasversorgung an eine Elektrolyse angeschlossenen Produktion von Isoliermaterial in Wunsiedel, Bayern, macht die Gefahr beim Umgang mit Wasserstoff deutlich.)

Wird Wasserstoff in einfachen Metalltanks oder -leitungen gelagert, so kommt es wegen der geringen Atom- und Molekülgröße zur Diffusion, das heißt, Gas tritt durch die Gefäßwände aus. Dies ist u.a. für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge von Bedeutung, wenn diese länger an einem abgeschlossenen Platz stehen. Spezielle Drucktanks bzw. Leitungen (faserverstärkte Kunststoffe mit Inlinern) sind für den sicheren Transport und Lagerung des Gases erforderlich, ein weiterer Nachteil für den Fahrzeugbau.

Die geringe Größe der Wasserstoffmoleküle begünstigt die Diffusion zwischen den Gitterplätzen in Stählen. Dadurch können Degradationsprozesse, im Wesentlichen Versprödung, in Pipeline-Stählen und Dichtungen beschleunigt werden, die zu Leckagen und letztendlich zum Versagen der Pipeline führen können.

Kleine Wasserstofflecks sind für die menschlichen Sinne schwer wahrnehmbar, da Wasserstoff farblos, geruchlos und geschmacklos ist. In Erdgas werden üblicherweise Geruchsstoffe wie Mercaptane (CH<sub>3</sub>SH)

verwendet, um Lecks zu erkennen. Es ist jedoch nicht möglich, diese Stoffe in einen Wasserstoffstrom einzubringen, insbesondere wenn der transportierte Wasserstoff zur Versorgung von Brennstoffzellen oder Wasserstofffahrzeugen verwendet wird. Die Katalysatoren in diesen Brennstoffzellen sind äußerst empfindlich gegenüber Schwefelverbindungen.

Das Fehlen eines Geruchsstoffs zur Leckage Erkennung ist ein Problem für die Wasserstoffverteilung.

Wasserstoff nimmt als Gas unter Normaldruck ein extrem großes Volumen ein (330 Liter / kWh). So kann man das Gas weder sinnvoll speichern noch transportieren. Bei niedrigen Drücken kann Wasserstoff nur mit Kolbenverdichtern transportiert werden, Turboverdichter können erst bei höheren Drücken ab 7 bar eingesetzt werden. Daher wird Wasserstoff entweder unter hohen Druck versetzt (0,75 Liter pro kWh bei 700 bar) oder er wird verflüssigt (0,42 Liter/ kWh bei -253 °C). Weder so hohe Drücke, noch so tiefe Temperaturen sind für große Mengen leicht handhabbar und vor allem mit hohen Kosten verbunden. Daher gibt es Überlegungen, den Wasserstoff chemisch zu binden, um ihn leichter transportieren zu können.

Ob es nun LOHC (liquid organic hydrogen carrier), eine organische Flüssigkeit, die in der Lage ist, Wasserstoff zu binden (Hydrierung), Power Paste, ein neuerdings vom Fraunhofer Institut in die Diskussion eingebrachtes flüssiges Gel auf Magnesium-Wasserstoffbasis, Methan, Methanol oder Ammoniak ist, leiden sie alle neben ungelösten technischen Problemen daran, dass der energetische Wirkungsgrad auf Werte deutlich unter 40% sinkt.

Noch sind die Mengen von grünem Wasserstoff auf dem Markt verschwindend klein. Im Jahr 2021 lag die weltweite Wasserstoffproduktionsmenge laut Handelsblatt bei 94,23 Millionen Tonnen. Davon waren nur 30.000 Tonnen „grün“ produziert. Im vergangenen Jahr hat sich diese Menge auf 90.000 Tonnen verdreifacht, was aber immer noch ein sehr, sehr geringer Anteil an der Gesamtproduktion ist.

Derzeit verbraucht die Industrie in Deutschland jährlich etwa 1,8 Mio. Tonnen Wasserstoff, die einer Energiemenge von etwa 55 bis 60 TWh entsprechen.

(1 TWh =  $1 \cdot 10^9$  kWh oder 1 Milliarde kWh)

Abb. 4 zeigt den gesamten Energiebedarf Deutschlands für die Jahre 1991 bis 2019:

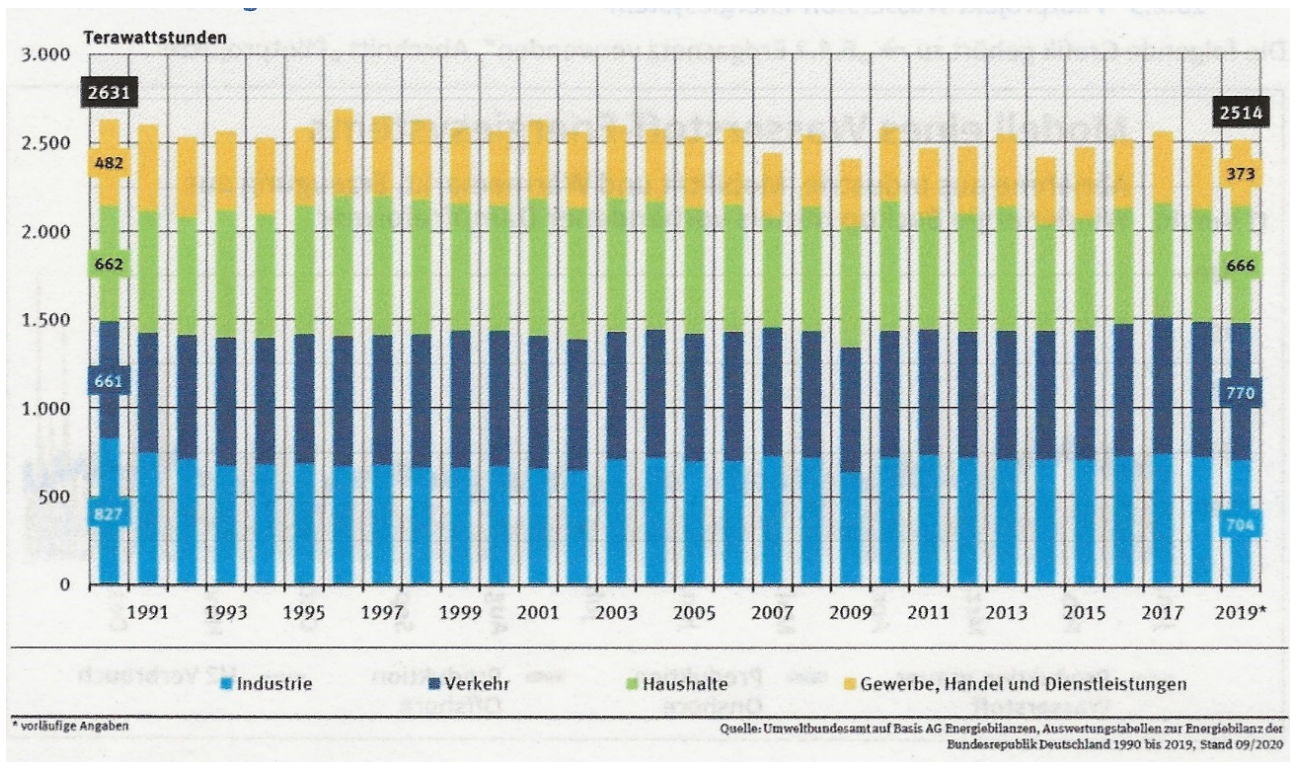


Abb. 4: Energieverbrauch Deutschlands nach Sektoren.

Trotz massivem finanziellen Aufwand für die Energieeinsparung hat sich im Laufe der in Abb.4 dargestellten 30 Jahre der gesamte Energieverbrauch nur von 2.631 auf 2.514 Terrawattstunden reduziert (ca. 5% Verringerung), im Wesentlichen erreicht durch einen geringeren Energieverbrauch im industriellen Sektor.

Betrachtet man den Gesamtenergiebedarf Deutschlands mit ca. 2.500 TWh/a, die sich auf Strom mit ca. 600 TWh/a, Verkehr auf 750 TWh/a und Wärme mit 1.150 TWh/a verteilen, so müssen bei unverändertem Gesamtenergiebedarf und unter der heute noch nicht bewiesenen Annahme, dass der Strom absolut kohlendioxidfrei erzeugt wird, langfristig 1.800 Milliarden kWh/a durch Wasserstoff ersetzt werden. Das erfordert eine Produktion von ca. 60 Milliarden kg Wasserstoff pro Jahr oder 60 Millionen Tonnen Wasserstoff/ Jahr allein für Deutschland.

Für grünen Wasserstoff im industriellen Maßstab kommt als Herstellungsverfahren nur die Elektrolyse von Wasser in Frage. Da Deutschland seine Kernkraftwerke stillgelegt hat und auch die Kohlekraftwerke abschalten will, muss eine entsprechende Zahl von Windkraftanlagen bzw. Photovoltaikanlagen als Energiequelle dienen.

Der Wirkungsgrad des eingesetzten Stroms bezogen auf den Brennwert des Wasserstoffs liegt bei heutigen Elektrolyseanlagen bei ca. 65%. Unter Zugrundelegung dieses Wirkungsgrades für die Elektrolyse ist eine elektrische Eingangsleistung von ca. 3.000 Milliarden kWh/a bzw. 3.000 TWh/a erforderlich, die zudem ständig verfügbar sein muss, eine

Forderung, die bei Windkraft- und Solaranlagen keineswegs gewährleistet ist.