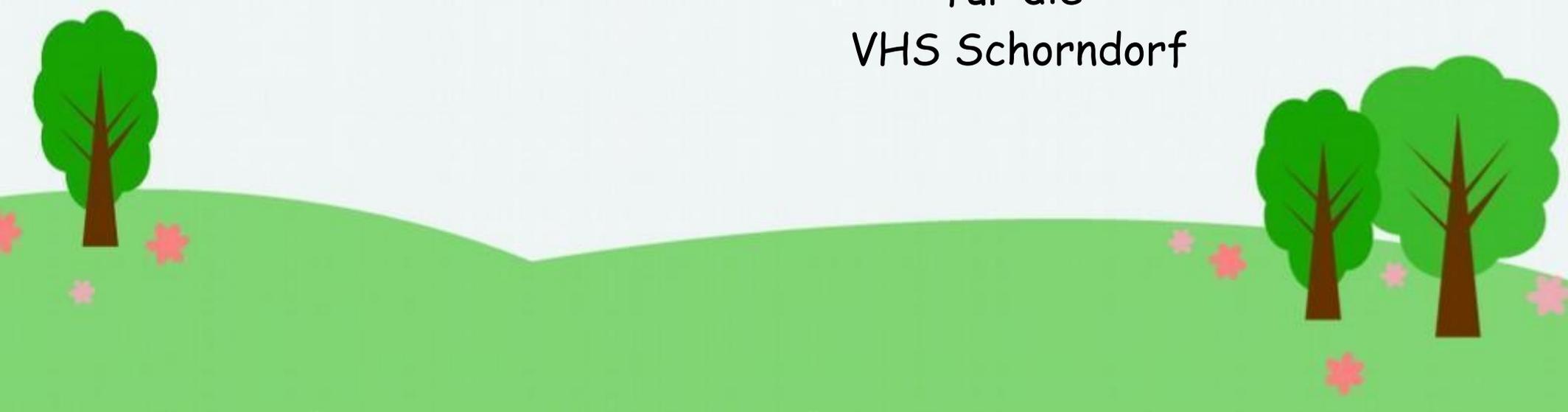




Grüner Wasserstoff „Champagner der Energiewende“

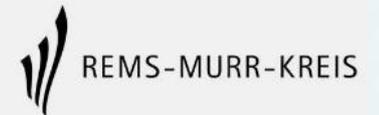
Verfasst von Reinhard Muth
für die
VHS Schorndorf



In eigener Sache

Für mich war der einstimmige Beschluss des Rems-Murr-Kreistags zur Wasserstoff-Strategie im Kreis am 13.7.2020 Anlass, mich genauer über die Umweltfolgen der Wasserstoff-Technologien zu informieren. (1)

Alle von der Verwaltung vorgeschlagenen Wasserstoff-Projekte (außer der Fortbildung an der Berufsschule) haben nach meinem Wissensstand nur negative Folgen für den CO₂ Ausstoß im Kreis. Sie sind kein Beitrag zum Klimaschutz. Im Gegenteil, durch diese Projekte wird der CO₂ Ausstoß im Kreis erst einmal unnötig erhöht statt gesenkt!



Drucksache

Grundsatzentscheidung zur Wasserstofftechnologie im Rems-Murr-Kreis			
verantwortlich: Amt für ÖPNV Amt für Schulen, Bildung und Kultur			Drucksache 2020/131
			01.07.2020
Beratung:	Ö	06.07.2020	Umwelt- und Verkehrsaus- schuss
Beschlussfassung:	Ö	13.07.2020	Kreistag



Vorneweg

Es gibt einige wenige für den Klimaschutz hilfreiche Anwendungen für Wasserstoff. Dazu gehört die Stahl- und die Zementproduktion. Auch in der Chemieindustrie gibt es Anwendungen, die einzig mit Wasserstoff klimaneutral ausgeführt werden können.

Ich spreche mich deshalb nicht gänzlich gegen Wasserstoff Anwendungen aus. Allerdings wird für die Umstellung dieser industriellen Prozesse schon eine unvorstellbare Menge an Wasserstoff benötigt.



Für diejenigen, die es genauer wissen möchten, habe ich diesen Vortrag verfasst.



Alternativen zu Wasserstoff Anwendungen

geplante Anwendung	Alternative
Bahnverkehr auf noch nicht elektrifizierten Strecken	elektrifizieren oder teilelektrifizieren und Batterie z.B. Siemens Mireo Plus B
Linienbus	Oberleitungsbus oder hybriden Oberleitungsbus z.B. Esslingen
Langstrecken LKW	Transport auf elektrifizierte Bahn verlagern
Kurzstrecken LKW	mit Batterie möglich
PKW	Batteriebetrieb hat sich schon durchgesetzt
Wärme für Wohnungen	Wärmenetze mit Wärmespeichern für Siedlungen, Wärmepumpen für kleine Einheiten, Solarkollektoren für Warmwasser und Fotovoltaikpanel für Strom
Stahlschmelze	keine Alternative
Zementwerk	keine Alternative
chemische Industrie	teilweise ohne Alternative



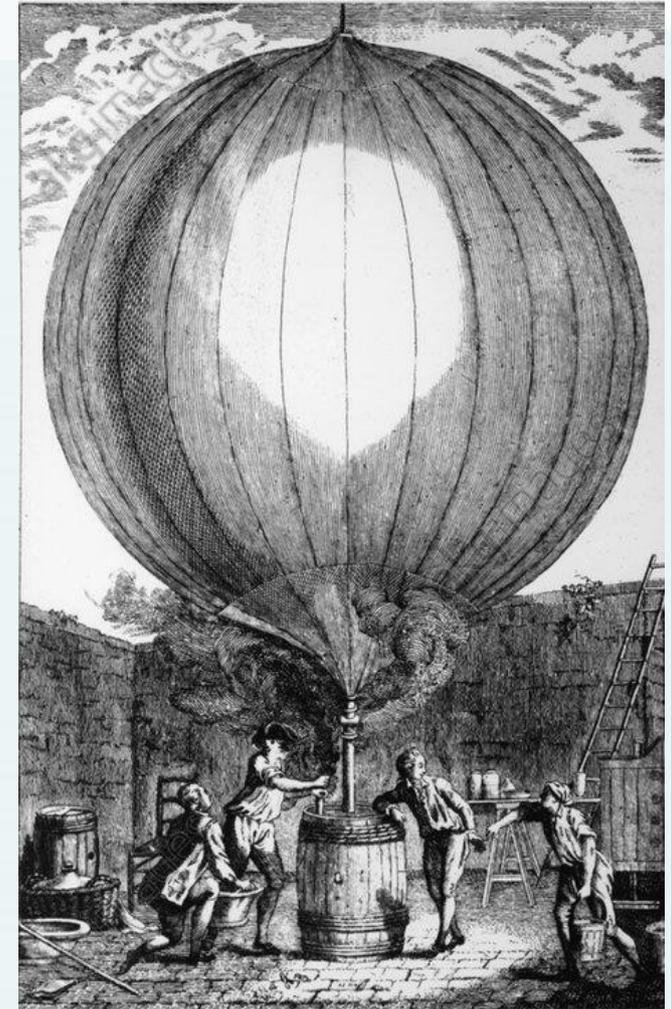
Erste Anwendung von Wasserstoff

schon 1783!

Bereits die Brüder Montgolfier wollten in ihrem Ballon Wasserstoff verwenden, scheiterten allerdings an dem zu schnellen Diffundieren des Gases durch die Oberfläche des Ballons.

Erst Jacques Alexandre César Charles gelang es, das Gas im Ballon zu halten und damit 1783 seine ersten erfolgreichen Flüge zu unternehmen, was ihm nur wenige Monate später als den Brüder Montgolfier mit ihrem Heißluftballon geglückt war. Somit war Charles quasi der Pionier der Luftfahrt mit Wasserstoff, wie dies später die Luftschiffbau Zeppelin GmbH u.a. Unternehmen im großen Maßstab betrieben.

„Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist.“, schrieb Jules Verne 1870 in „Die geheimnisvolle Insel“.



Etwas Chemie

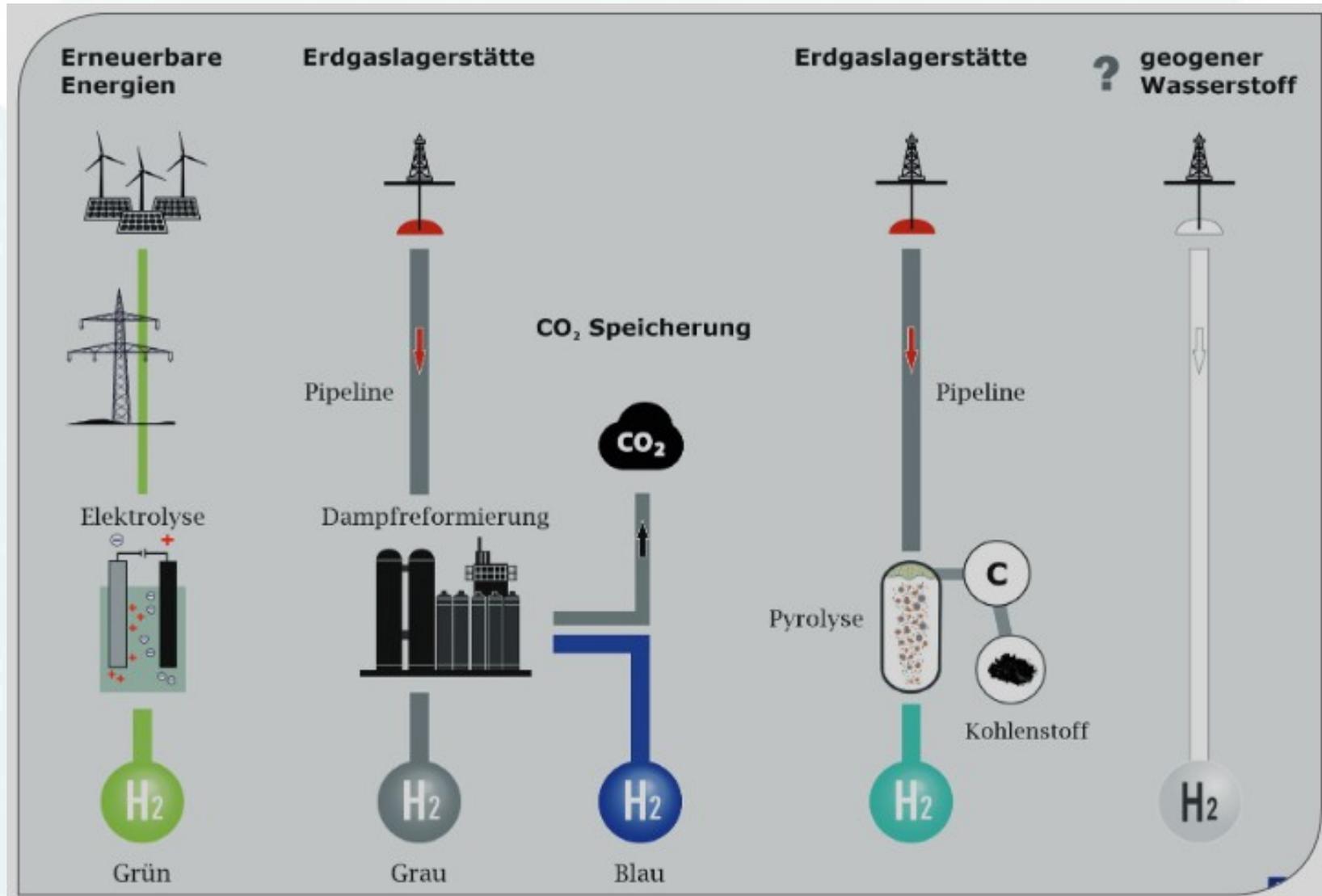
Wasserstoff ist das chemische Element mit der geringsten **Atommasse**. Sein häufigstes **Isotop**, das auch als **Protium** bezeichnet wird, enthält kein **Neutron**, sondern besteht aus nur einem **Proton** und einem **Elektron**. Unter Bedingungen, die normalerweise auf der Erde herrschen, liegt das gasförmige Element Wasserstoff nicht als *atomarer Wasserstoff* mit dem Symbol H vor, sondern als *molekularer Wasserstoff* mit dem Symbol H₂, als ein farb- und geruchloses **Gas**. 1 kg (komprimierter) Wasserstoff hat einen Energiegehalt von 33 kWh. Zum Vergleich: Ein Liter Diesel enthält 10 kWh.



Da das Molekül so klein ist, müssen besondere Maßnahmen ergriffen werden um Wasserstoff speichern oder durch Pipelines leiten zu können. Das kleine Molekül durchdringt alle größeren Molekülstrukturen. Wasserstoff dringt als sehr kleines Molekül in metallisches Gefüge eines Tanks oder einer Pipeline ein und lagert sich dort an. Infolgedessen kommt es zur Materialermüdung und Rissbildung.



Wege zum Wasserstoff

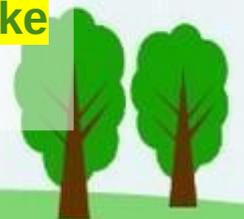


Wasserstoff wird hergestellt aus...

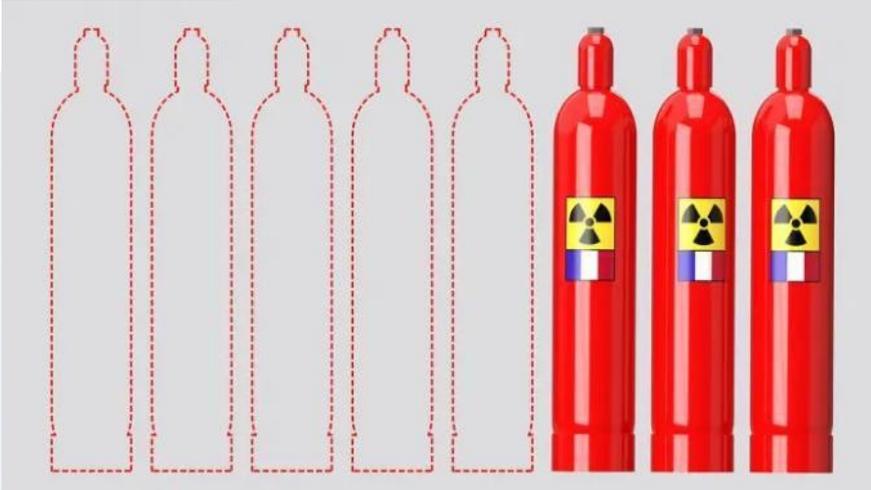


Je nach Quelle der Primärenergie zur Erzeugung von Wasserstoff haben sich bestimmte Farben eingebürgert. Bei der Erzeugung von Wasserstoff mittels regenerativem Strom spricht man von grünem Wasserstoff.

An dieser Stelle sollte aber noch zusätzlich unterschieden werden, ob der regenerative Strom nur aus den **Überschüssen** der regenerativen Stromproduktion stammt oder nicht. Statt Windräder oder PV-Anlagen ab zu regeln wird aus deren **überschüssigen** Strom Wasserstoff gewonnen. Dadurch kann der schlechte Wirkungsgrad der Wasserstoffwirkungskette kompensiert werden **ohne eine Lücke in der Produktion von regenerativem Strom zu hinterlassen**.



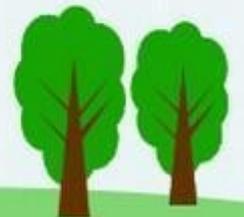
Aktuelle Nachrichten



- Inzwischen bezeichnet die Bundesregierung Wasserstoff auch dann als grünen Wasserstoff, wenn er aus **Erdgas** (türkis) oder **Atomstrom** (pink) gewonnen wird. (X)



- Es gibt auch noch sogenannten **weißen Wasserstoff**. Dies ist Wasserstoff, der wie Erdöl oder Erdgas tief in der Erdkruste gespeichert ist. (Y)



Wirkungsgrad

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Nach M. Liebreich, 2021)

Alternativlos



Unwirtschaftlich

* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak.

Bei der Ermittlung der Effizienz einer Wasserstoffwirtschaft muss die gesamte Umwandlungskette von der Herstellung des Wasserstoffs bis zu Erzeugung der Endenergie beim Verbraucher betrachtet werden. (5)



Produktion von Wasserstoff

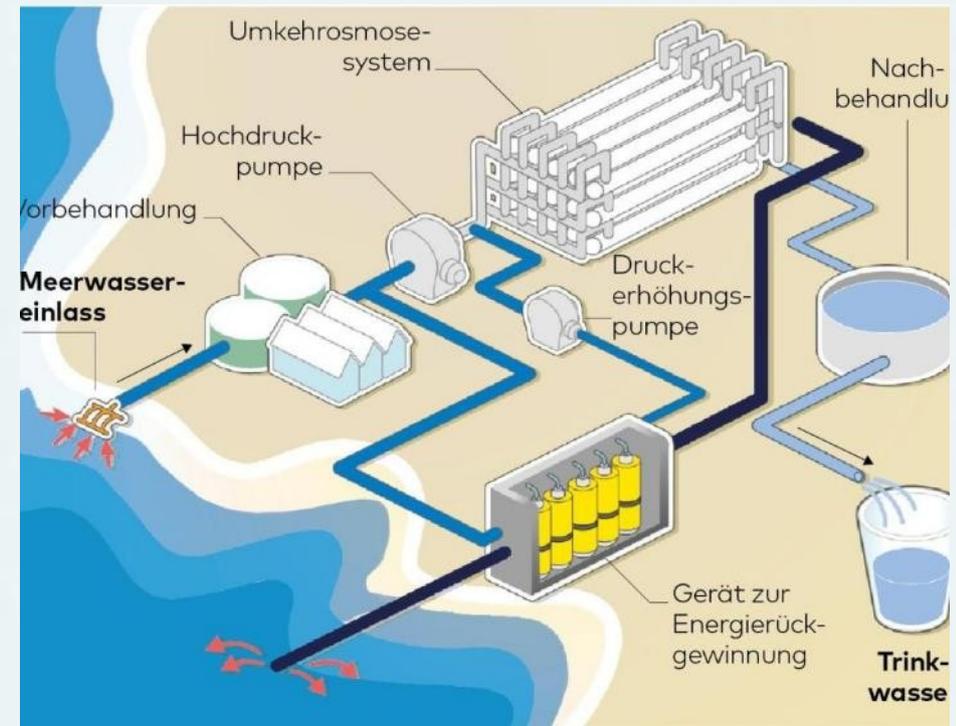
Derzeit gewinnt im Rahmen der Debatte um die Vermeidung von Kohlendioxid und um die **Power-To-Gas**-Strategie die **Wasserelektrolyse** als Methode zur Herstellung von Wasserstoff immer mehr an Bedeutung. Bei der Wasserelektrolyse wird **Wasser** in einer elektrochemischen Redoxreaktion durch Zufuhr von elektrischer Energie in die Bestandteile Wasserstoff und **Sauerstoff** zerlegt. (3)



Wieviel Wasser wird benötigt?

9 kg Wasser für ein 1 kg Wasserstoff, das ist der stöchiometrische Wert. Technisch ist aufgrund der meistens erforderlichen Wasseraufbereitung eine höhere, oft sogar eine deutlich höhere Menge Rohwasser erforderlich, insbesondere wenn dafür Meerwasser entsalzt wird.

Nimmt man den Mittelwert der rund 16 000 in weltweit 177 Ländern in Betrieb befindlichen Entsalzungsanlagen, entsteht 1 l Süßwasser aus 2,5 l Rohwasser (Daten aus: The state of desalination and brine production: A global outlook). Würde man aus diesen Anlagen Wasser zur Wasserstoffgewinnung per Wasserelektrolyse einsetzen, läge der technische Wasserbedarf bei fast 22,5 kg Rohwasser pro 1 kg Wasserstoff. **Bei einem hohen Salzgehalt im Rohwasser steigt der Wasserbedarf auf bis zu 30 kg Rohwasser pro 1 kg Wasserstoff.** (Z)



Zum Wirkungsgrad in der Mobilität

Gesamtwirkungsgrade können nur Näherungswerte sein. Der reale Strommix in Deutschland erhöht den Wirkungsgrad je nach Anteil der Stromerzeuger. Für die Mobilität wird Strom zuerst in Wasserstoff und später Wasserstoff wieder in Strom umgewandelt. Diese **doppelte Umwandlung** beinhaltet auch deutliche Umwandlungsverluste und damit einen schlechteren Wirkungsgrad als die direkte Anwendung von Strom.

Für ein Brennstoffzellenfahrzeug mit fossiler Wasserstoff-erzeugung durch Erdgasreformation (derzeit Standard) ergibt sich mit der Energiekette

Dampfreformation → Verdichtung → BSZ → Akku → Elektromotor ein Wirkungsgrad von $0,75 \times 0,88 \times 0,6 \times 0,94 \times 0,95 = 0,35$.

Für ein akkubetriebenes Elektrofahrzeug mit Aufladung durch reinen Kohle-Strom ergibt sich mit der Energiekette

Kohlekraftwerk → Stromtransport → Akku → Elektromotor ein Wirkungsgrad von $0,38 \times 0,92 \times 0,94 \times 0,95 = 0,31$.

Für ein Fahrzeug mit Ottomotor ergibt sich mit der Energiekette

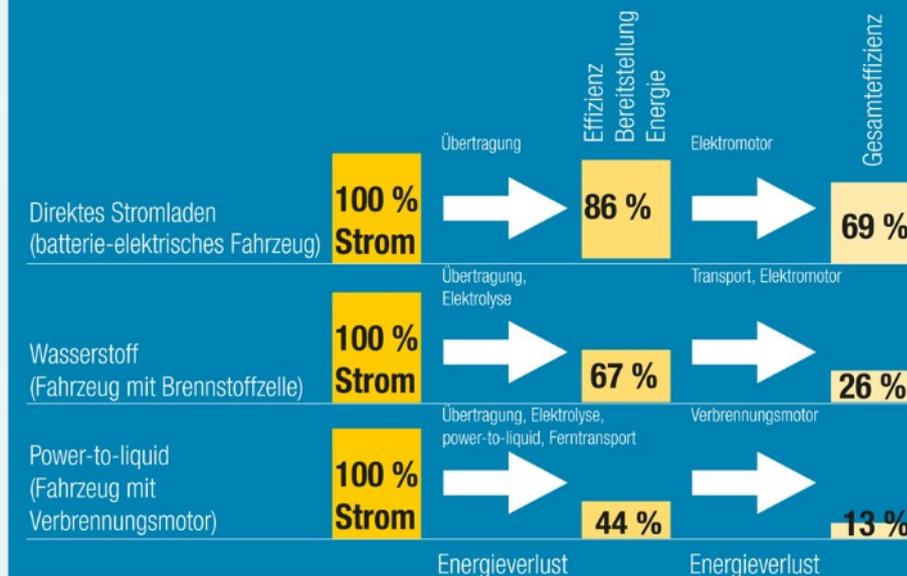
Transport und Aufbereitung Motorenbenzin → Ottomotor ein Wirkungsgrad von $0,85 \times 0,24 = 0,20$. (5)

Art	Angenommener Wirkungsgrad	Daten aus verschiedenen Quellen
Wasserstoff thermochemisch aus Biomasse	0,75	Der Wirkungsgrad der thermochemischen Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse wird je nach Verfahren zwischen 69% und 78% angegeben.
Wasserstoff aus Elektrolyse	0,80	Der Wirkungsgrad der Wasserelektrolyse wird mit 70 bis 90% angegeben.
Wasserstofftransport im Gasnetzwerk	0,99	< 0,01% Verluste im Gasnetzwerk.
Strom und Wärme aus Brennstoffzellen-heizung	0,85	85% Wirkungsgrad bezogen auf den Brennwert mit Reformern. Bei Heizanlagen kann der Wirkungsgrad auch auf den Heizwert des eingesetzten Brennstoffes bezogen werden, dabei können Wirkungsgrade über 100% entstehen, weil die bei der Kondensation zurückgewonnene Verdampfungsenthalpie im Heizwert nicht enthalten ist.
Brennstoffzelle elektrisch	0,60	Der elektrische Wirkungsgrad von Brennstoffzellen wird zwischen 35% und 90% angegeben. Der elektrische Wirkungsgrad einer PEM-Brennstoffzelle beträgt 60%.
Lithium-Ionen-Akku	0,94	Lithium-Ionen-Akkus haben einen Wirkungsgrad von 90–98%.
Elektromotor	0,95	Der Wirkungsgrad von Elektromotoren wird zwischen 94% und 97% angegeben. Traktionsmotoren haben generell sehr hohe Wirkungsgrade.
Wasserstoff Verdichtung auf 700 bar	0,88	Die Verluste bei der Verdichtung betragen ca. 12%.

Wirkungsgrade in der Mobilität

In diesen beiden Grafiken aus verschiedenen Quellen wird noch einmal das Dilemma mit den Verlusten in der Wirkungskette deutlich dar gestellt.

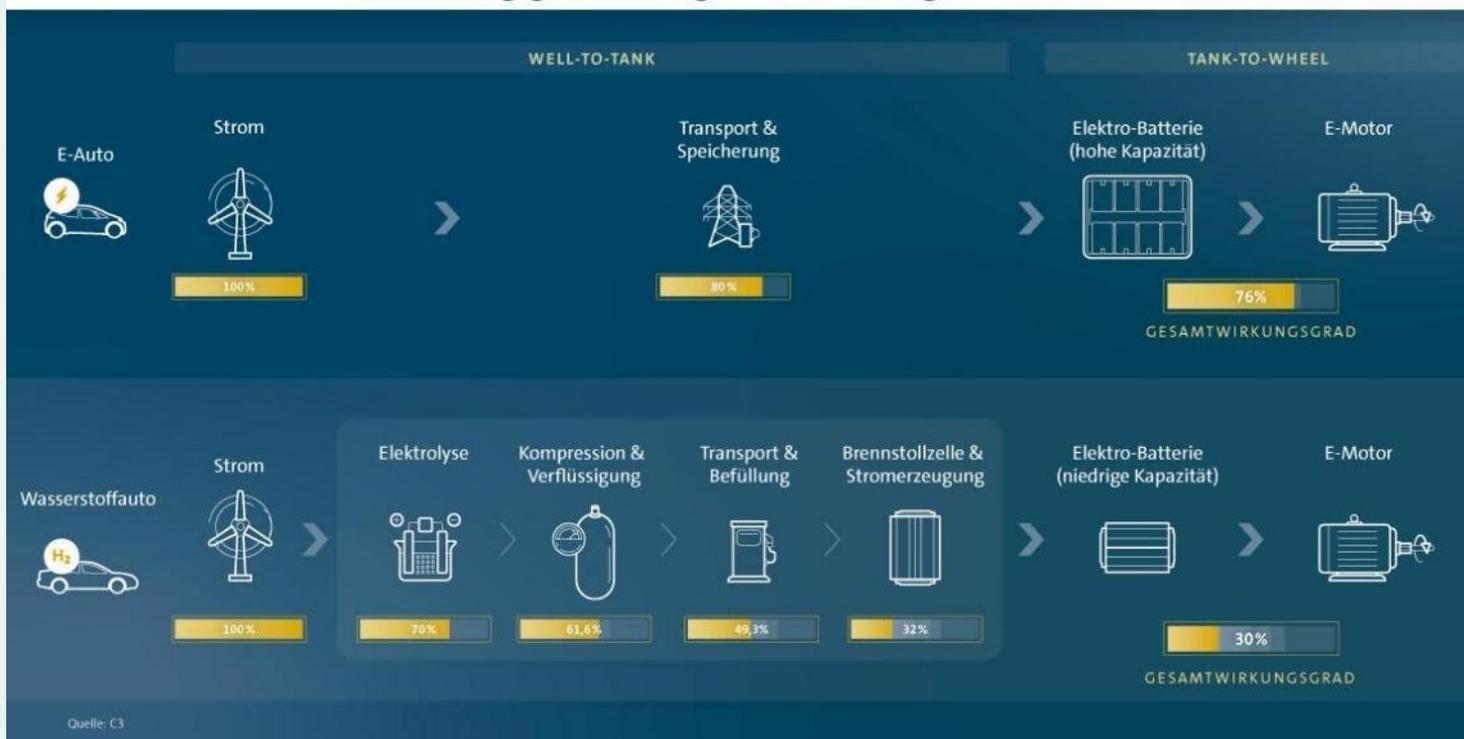
Batterie-elektrischer Antrieb hat höchsten Wirkungsgrad



Quelle: Agora u.a. 2018f Grafik: VCO 2019

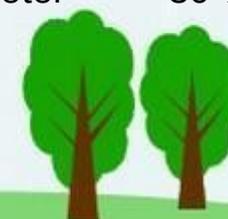
WASSERSTOFF UND E-ANTRIEB

Die Wirkungsgrade im Vergleich bei Nutzung von Öko-Strom



Quelle: C3

- E-Auto** Quelle = 100 %
- Transport, Speicherung = 80 %
- Batterie, E-Motor = 76 %
- H2-Auto** Quelle = 100 %
- Elektrolyse = 70 %
- Kompression & Verflüssigung = 61,6 %
- BSZ & Generator = 32 %
- Batterie & E-Motor = 30 %



Energiebedarf in der Mobilität

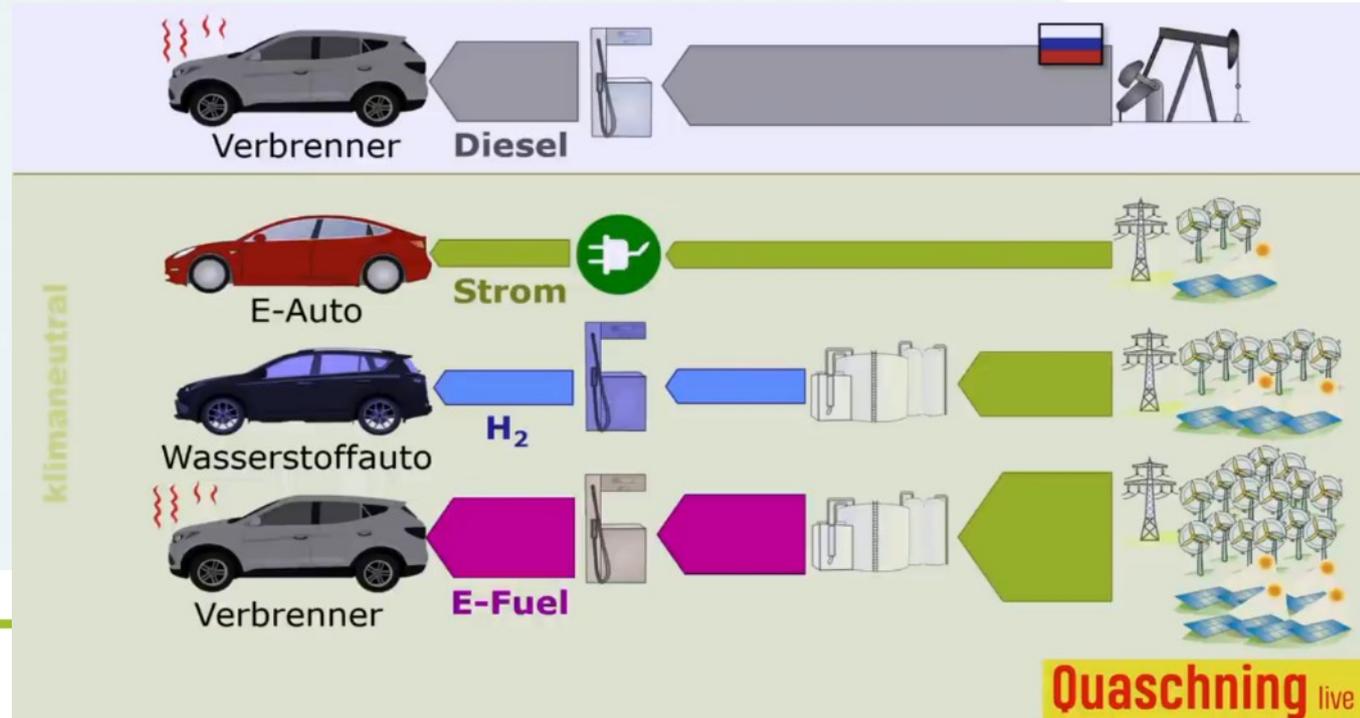
Die Grafik rechts zeigt die effektiv genutzte Energie der einzelnen Antriebsarten:

Verbrenner Diesel → 30 %

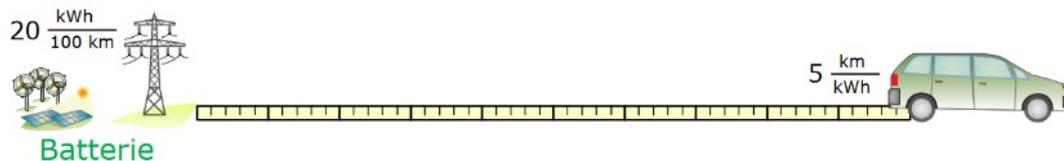
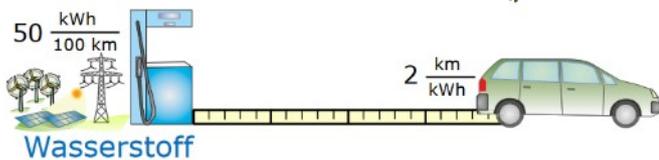
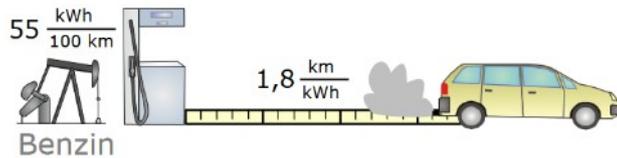
E-Auto → 70 %

Wasserstoffauto → 26 %

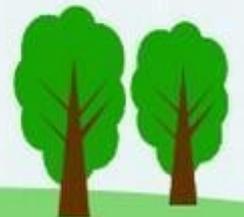
Verbrenner E-Fuel → 13 %



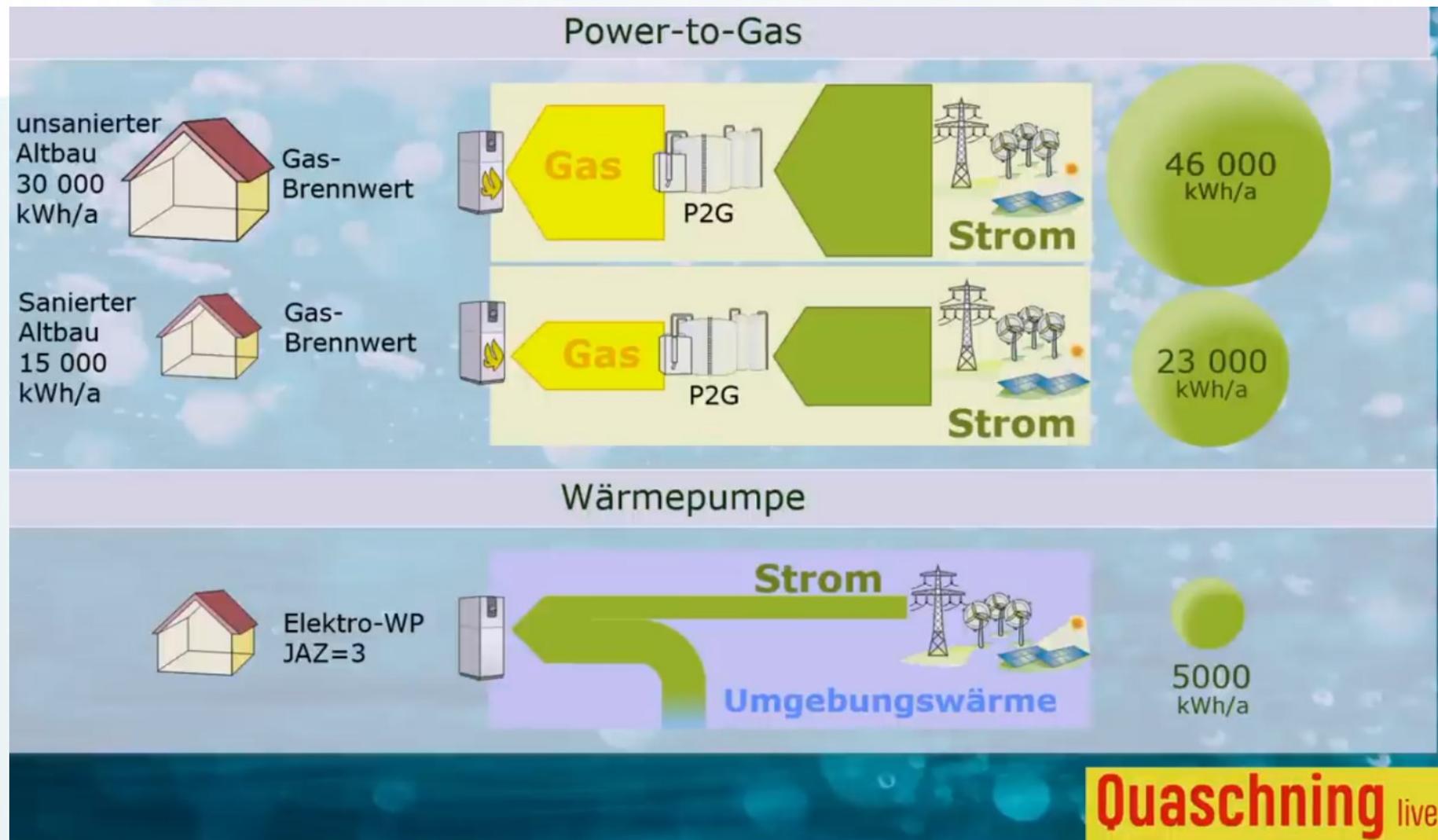
ntw. Effizienzgewinn durch Elektromobilität



Die Grafik links veranschaulicht den Effizienzgewinn mittels E-Mobilität deutlich!



Energiebedarf zur Wärmeerzeugung



Lagerung und Transport

Die Wasserstoffspeicherung ist die umkehrbare Aufbewahrung von Wasserstoff, mit dem Ziel, dessen chemische und physikalische Eigenschaften für eine weitere Verwendung zu erhalten. Konventionelle Methoden der Speicherung von Wasserstoff sind:

- **Druckgasspeicherung** (Speicherung in Druckbehältern durch Verdichten mit Kompressoren)
- **Flüssiggasspeicherung** (Speicherung in verflüssigter Form durch Kühlung und Verdichten)

Alternative Formen der Speicherung von Wasserstoff nutzen die physikalische oder chemische Bindung an einen anderen Stoff:

- **Absorption im Metallhydridspeicher** (Speicherung als chemische Verbindung zwischen Wasserstoff und einem Metall bzw. einer Legierung)
- **Adsorptionsspeicherung** (adsorptive Speicherung von Wasserstoff in hochporösen Materialien)
- **chemische Bindung**, bei der der Wasserstoff durch eine chemische Reaktion in einen anderen Stoff überführt wird, der z. B. drucklos und bei Raumtemperatur gelagert und transportiert werden kann („Chemisch gebundener Wasserstoff“). (10)



Das Leitprojekt TransHyDE entwickelt Transport-Technologien umfassend weiter – und zwar **technologieoffen** entlang verschiedener möglicher Entwicklungspfade. Genauer wird TransHyDE in vier Demonstrationsprojekte je eine Transport-Technologie testen und hochskalieren (11):

- Wasserstofftransport in Hochdruckbehältern.
- Wasserstofftransport in bestehenden Gasleitungen.
- Transport von in Ammoniak gebundenem Wasserstoff.
- Wasserstofftransport mittels LOHC.



H2 Kosten und Preise



H2 TRUCK FUEL | Wasserstoff für große Nutzfahrzeuge wie Lkw oder Busse

12,85 €/kg H2 bei 350 bar

H2 CAR FUEL | Wasserstoff für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und Müllsammler

13,85 €/kg H2 bei 700 bar



Daten: E-Bridge Consulting GmbH. Eigene Darstellung: ASUE Stand: 31.12.2021



Daten: E-Bridge Consulting GmbH. Eigene Darstellung: ASUE Stand: 07.10.2022

Zum politischen Umfeld Die Wasserstoff Lobby



Für mich sehr aufschlussreich zu lesen war eine Rezension der ZEIT von 2005 zu dem Buch von Hermann Scheer "Energieautonomie":
"Allerdings habe der SPD-Politiker und Träger des Alternativen Nobelpreises seine Thesen noch einmal zugespitzt: Wenn die Energiepolitik nicht eine sofortige und radikale Wende zur erneuerbaren Energie vollziehe, drohe die "Herrschaft eines Öl-Strom-Atom-Wasserstoff-Kartells" - mit den entsprechend unangenehmen Folgen für Mensch und Natur."

Genau dieses "**Wasserstoff-Kartell**" wird jetzt von der Gaswirtschaft und weiten Teilen der Politik massiv angestrebt.



Ausschnitte aus einem Artikel bei Correctiv.org

Die Lobbyisten der Gasindustrie arbeiten auf Hochtouren. Denn die Branche kämpft ums Überleben. Sie will die Wiederaufbaumittel der EU nutzen, um sich unabdingbar zu machen: Wasserstoff soll nicht nur mit erneuerbaren Energien, sondern auch mit Gas produziert werden. Über Einfluss und zu große Hoffnungen auf einen vermeintlich sauberen Energieträger. (7)

Wer über den Lobbyismus rund um die Wasserstoff-Förderung und die Rolle eines Politikers recherchiert, erhält Antwort von einem Anwalt: Er könne „gegenwärtig keinen Berichterstattungsanlass erkennen“, schreibt Medienanwalt Christian Schertz an CORRECTIV.

Er habe seinem Mandanten – dem CDU-Abgeordneten Joachim Pfeiffer (*siehe da, aus Waiblingen!*)– empfohlen, zu seinen konkreten unternehmerischen Tätigkeiten keine Erklärung abzugeben. Dabei wollten wir nur wissen, welche Rolle Pfeiffer, jahrelang energiepolitischer Sprecher der CDU, bei der Wasserstoffstrategie in seiner Heimatregion Stuttgart gespielt hat.

Neben seinem Job als Bundestagsabgeordneter war Joachim Pfeiffer bis Ende 2020 im Beirat der kanadisch-malischen Firma Hydroma, die Wasserstoff aus Entwicklungsländern in Westafrika nach Deutschland exportiert. Hydroma hält nach eigenen Angaben das größte natürliche Wasserstoff-Feld in Mali.



Wasserstoff Import?

Die Gaskonzerne verdrängen schon heute in Afrika klimaschützende Stromproduktion aus dem Netz!

Ausschnitt aus einem Artikel der TAZ:

„Grüner Wasserstoff ist der Energieträger der Zukunft“, erklärte Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier zum Auftakt des EU-Wasserstoffgipfels in Brüssel am 5. Oktober. Es ging um die EU-Wasserstoffstrategie, eines der ehrgeizigsten Bestandteile des Vorhabens, die EU zum Jahr 2050 klimaneutral zu machen.



Der Kongo-Fluss mit den beiden existierenden Inga-Staudämmen. Inga III wäre zehnmal größer
Foto: Thierry Charlier / Camera Press / laif

Klar wurde: Europa wird dafür große Mengen „grünen“ Wasserstoff aus anderen Erdteilen importieren müssen. „Mit ganzer Kraft“ wolle er das mit internationalen Partnern vorantreiben, sagte Altmaier. (9)

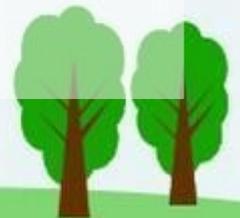
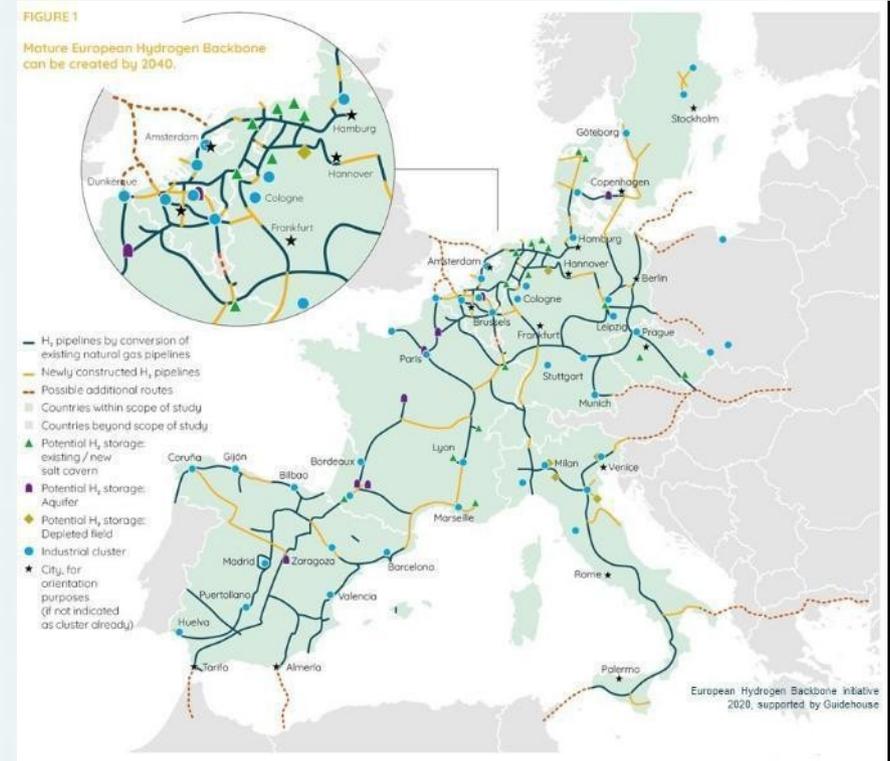


EU-Wasserstoffstrategie offen für Wasserstoff aus Gas und Atomstrom

Anders als die deutsche Wasserstoffstrategie sieht die im Sommer 2020 vorgestellte Wasserstoffstrategie der EU-Kommission blauen Wasserstoff zumindest vorläufig als Teil der Lösung. Und so investiert sie Milliarden in CCS-Projekte. Auch im Rahmen des Corona-Aufbauplans soll dieser Sektor begünstigt werden.

In Deutschland ist die Technologie bis auf wenige Ausnahme-Projekte allerdings

derzeit nicht erlaubt. Auch der EU-Ministerrat, das Gremium der EU-Mitgliedstaaten, hat sich bereits positioniert. Er will in seinen Schlussfolgerungen zur EU-Wasserstoffstrategie auch Wasserstoff aus Erdgas und sogar Atomstrom (violetter/pinker Wasserstoff) mittelfristig im Fahrplan berücksichtigt sehen. (8)



Mein Fazit

- Wasserstoff kann nur dann einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, wenn er mit Hilfe von **überschüssigen** regenerativen Strom gewonnen wird. In Deutschland ist noch für lange Zeit kein **überschüssiger** regenerativer Strom in benötigten Mengen in Sicht.
- Wasserstoff sollte nur dann eingesetzt werden, wenn es keine Alternative dazu gibt. Also nicht als Antriebsenergie für Busse oder als Energie für Heizungen, wie es der Rems-Murr-Kreis beschlossen hat. Oder als Beimischung im Gasnetz, wie es die Stadtwerke Backnang planen.
- Import von Wasserstoff aus südlichen Regionen schafft nur neue Probleme in den exportierenden Ländern und ist unwirtschaftlich.
- Der augenblicklich Wasserstoff Hype ist die Folge einer sehr erfolgreichen Marketing Strategie der Gasindustrie. Sie dient einzig dazu, leistungslose Einkommen (die Gewinne der Aktienbesitzer) in der vorhandenen Gasinfrastruktur weiterhin zu ermöglichen. Ein wirksamer Klimaschutz ist nicht das Ziel der Akteure.
- Die technisch sehr anspruchsvolle Wasserstofftechnologie kann nur von großen Konzernen umgesetzt werden. Dezentrale Bürgerenergie wird dadurch vom Markt ausgeschlossen.



Meldung vom 12.1.2022

Kostenfaktor: Montpellier setzt auf Elektro- statt Wasserstoffbusse



Die deutlich niedrigeren Betriebskosten gaben für die südfranzösische Metropole den Ausschlag für die Revision der Entscheidung, batterie- statt brennstoffzellenbetriebene Busse einzusetzen.

Quelle:

<https://vision-mobility.de/news/>



Danke für's Zuhören!



SIEMENS
Ingenuity for life

Mireo Plus B
Mireo Plus H
Hybrid-Triebzüge

**Noch
Fragen?**

**Auf den folgenden Folien finden Sie
noch Links zum Nachlesen und ein
Abkürzungsverzeichnis.**

Zum Weiterlesen 2022

- (1) <https://muth-ah.net/pages/topics/15.7.-kreistag-einstimmig-fuer-wasserstofftechnologie.php?p=12>
- (2) <https://muth-ah.info/pages/klima-und-umwelt/energiewende/wasserstoff.php>
- (3) <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff>
- (4) <https://www.auto-motor-und-sport.de>
- (5) https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffwirtschaft_Wirkungsgrade
- (6) <https://holgerwatter.wordpress.com/tag/wasserstoff/>
- (7) <https://correctiv.org/aktuelles/2021/05/04/blauer-wasserstoff-wie-eine-maechtige-lobby-um-ihr-gas-kaempft/>
- (8) <https://www.lobbycontrol.de/2021/01/wasserstoff-der-stoff-aus-dem-die-traeume-der-gaslobby-sind/>
- (9) <https://taz.de/Gruener-Wasserstoff-aus-dem-Kongo/!5717317/>
- (10) <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffspeicherung>
- (11) <https://www.wasserstoff-leitprojekte.de/leitprojekte/transhyde>
- (12) <https://www.rems-murr-kreis.de/landratsamt-und-politik/aktuelles>
- (13) <https://taz.de/Handel-mit-dem-Energietraeger/!5820548/>
- (14) <https://www.lobbycontrol.de/2021/01/wasserstoff-der-stoff-aus-dem-die-traeume-der-gaslobby-sind/>
- (15) <https://muth-ah.info/pages/topics/19.12.-thema-wasserstoff-bei-den-linken-im-eu-parlament.php>
- (16) <https://www.dielinke-rv-stuttgart.de/antraege-reden-anfragen/>



Zum Weiterlesen 2023

- (X) TELEPOLIS: Deutsche Regierung fällt auch bei Atomstrom für Wasserstoff um
<https://www.telepolis.de/features/Deutsche-Regierung-faellt-auch-bei-Atomstrom-fuer-Wasserstoff-um-7544969.html>
- (Y) TAZ: H2 aus natürlichen Quellen
<https://taz.de/Natuerlicher-Wasserstoff-unter-der-Erde/!5921085/>
- (Z) TGA-Fachplaner: Wieviel Waser wird benötigt?
<https://www.tga-fachplaner.de/energietechnik/>
- Mein eigener Blog zu Wasserstoff 2023
https://www.muth-ah.de/pages/klima_und_umwelt/wasserstoff.php
- Homepage von Prof. Quaschning
<https://www.volker-quaschning.de>
- Quaschning live: Führt uns Wasserstoff aus der Krise:
<https://www.youtube.com/live/>
- Picea Wasserstoffsystem für Einfamilienhaus
<https://www.homepowersolutions.de>
- Efahrer.com: Wiesbaden schafft H2-Busse wieder ab.
<https://efahrer.chip.de/news/wasserstoff-gegen-elektro-busse>
- Claudia Kemfert zu Wasserstoff und Energiewende vom 05.11.19
“Wasserstoff ist der Champagner der Energiewende“ (Youtube Video)



Abkürzungsverzeichnis

- BSZ **B**rennstoffzelle
- CCS **C**arbon dioxide **C**apture and **S**torage
- LOHC **L**iquid **O**rganic **H**ydrogen **C**arrier
- PEM-Brennstoffzelle
Polymerelektrolytbrennstoffzelle

