

Wasserstoff und die magische Grenze von 3€/kg

EIN NAHEZU UNBEGRENZT VERFÜGBARES ELEMENT UND VOLLER ENERGIE



1 H Hydrogen 1.0079																	2 He Helium 4.0026																	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.0122																	10 Ne Neon 20.1797																
11 Na Natrium 22.9898	12 Mg Magnesium 24.3047	13 Al Aluminium 26.9815	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.9738	16 S Schwefel 32.065	17 Cl Chlor 35.453	18 Ar Argon 39.948	19 K Kalium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.9559	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chrom 51.9961	25 Mn Mangan 54.938	26 Fe Eisen 55.845	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Kupfer 63.546	30 Zn Zink 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsen 74.9216	34 Se Selen 78.96	35 Br Brom 79.904	36 Kr Krypton 83.798									
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.9059	40 Zr Zirkon 91.224	41 Nb Niobium 92.9064	42 Mo Molybdän 95.94	43 Tc Technetium 98	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silber 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Zinn 118.71	51 Sb Antimon 121.76	52 Te Tellur 127.6	53 I Jod 126.9045	54 Xe Xenon 131.29	55 Cs Cäsium 132.9055	56 Ba Baryum 137.327	57 La Lanthan 138.9055	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodym 140.9077	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium 145	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.9253	66 Dy Dysprosium 162.5	67 Ho Holmium 164.9303	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.9342	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	103 Lr Lawrencium (261)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (273)																							

Dr. Jens Hanke / Graforce Hydro GmbH / www.graforce.de

Unternehmenskurzporträt



Graforce Hydro entwickelt und integriert seit dem Jahr 2010 neuartige Technologien (aus den Bereichen Plasmaphysik und Radiolyse) in Kombination mit verschiedenen Energieträgern (Laser, Mikrowellenstrahlung, Ultraschall, Terahertz und mechanische Schwingungsgeneratoren) zur Stoffumwandlung, Energieeffizienzsteigerung und Energiegewinnung.

Der **kombinierte Einsatz** dieser Energieträger und Technologien führt zu einer effizienten Spaltung ($\eta=89\%$) von Wasser.

Wasserstoffherstellung soll zu einem **Preis von 3 €/kg statt ggw. 8 €/kg** erfolgen.

Durch die Energieeffizienzsteigerung und die günstigen H₂-Herstellungskosten können verschiedene **Anwendungsbereiche in der Energie- und Automobil-/Transportwirtschaft** bedient werden.

Garagenwasserstoffgenerator



Leistung: 12 h entsprechend 22 Nm³ H₂ – serienreife Q3/2014

Preisentwicklung Energieträger



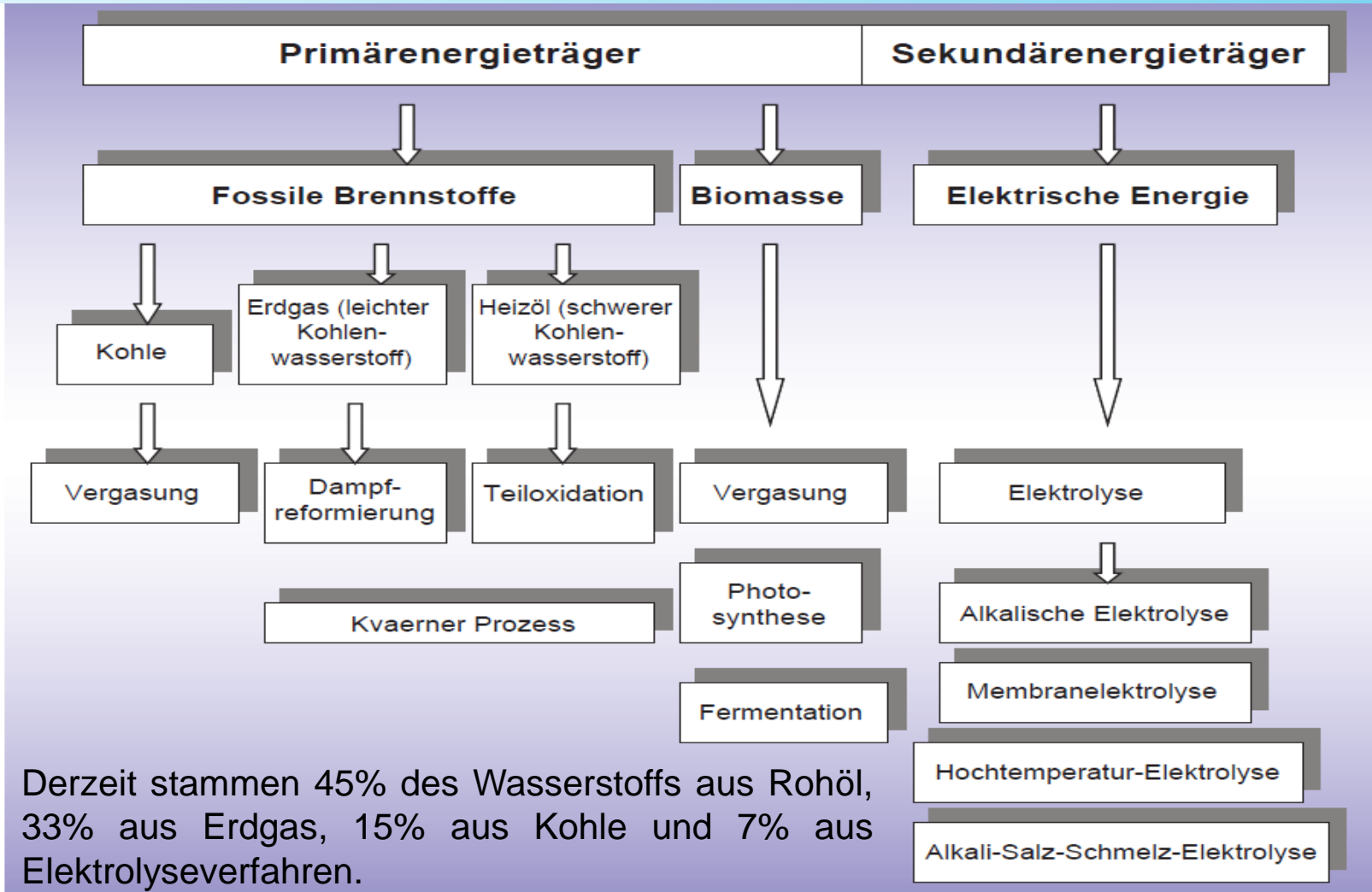
Energieträger	Jahr	Preise in (ct/kWh)						2000-2050	Referenzen
		2000	2010	2020	2030	2040	2050		
Rohöl		3,0	1,7	2,4	3,0	3,9	5,0	65%	1)
Steinkohle		1,0	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	42%	1)
Braunkohle		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-36%	1)
Erdgas für Industrie		1,1	1,1	2,0	2,7	3,3	4,6	316%	1)
Erdgas für Haushalte		5,3	3,8	4,9	5,9	6,8	8,4	58%	1)
Holz		1,0	1,6	1,6	1,6	2,1	2,6	172%	2)
Stroh		0,9	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	135%	3)
Zucker-/Stärkehaltige Pflanzen (Weizen)		1,6	0,9	1,3	1,6	2,1	2,7	65%	3)
Biogas (Reststoffe und Energiepflanzen) für Haushalte		9,9	9,5	9,8	10,1	10,4	11,9	20%	3)
Pflanzenöl		7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	0%	3)
Ethanol (Import)		0,9	1,8	2,6	3,2	4,1	5,3	465%	3)
Wasserkraft (modernisierte Anlagen)		4,8	6,2	6,9	6,9	6,9	6,6	38%	4)
Geothermie-Strom (KWK) für Haushalte		21,0	19,7	10,7	9,8	8,9	7,3	-65%	3), 4)
Geothermie-Wärme (KWK) für Haushalte		5,4	5,4	5,7	5,9	6,1	6,5	20%	3), 4)
Windkraft-Strom (onshore)		9,7	7,4	5,6	5,3	5,3	5,3	-46%	
Windkraft-Strom (offshore)		^{a)} 6,8	^{b)} 13,6	5,3	4,9	4,9	4,9	-28%	
Windkraft-Strom (Import aus Skandinavien)		6,2	4,8	3,7	3,6	3,6	3,6	-43%	
Photovoltaik-Strom (netzgekoppelt)		72,8	34,8	14,2	11,4	10,2	9,6	-87%	
Solarthermie-Strom (Import)		14,5	12,5	8,8	7,3	5,9	5,9	-59%	

Referenzen: 1) nach [#HyWays-II]; 2) nach [dena-BTL]; 3) nach eigenen Annahmen; 4) nach [BMU 2007]; 5) nach [#BWE/Wind energy market survey 2000; #EWEA 2008; #AWEA 2004/Windforce]; 6) nach [#BWE/Wind energy market survey 2000; #HyWays]; a) Horns Rev; b) Butendiek; 6

Im Strom- und Wärmebereich ist die Bereitstellung regenerativer Kraftstoffe derzeit noch teurer als für Kraftstoffe aus fossiler Primärenergie, wo Herstellungs- und Vertriebskosten zusammen lediglich 0,8 bis 0,9 ct/MJ ausmachen

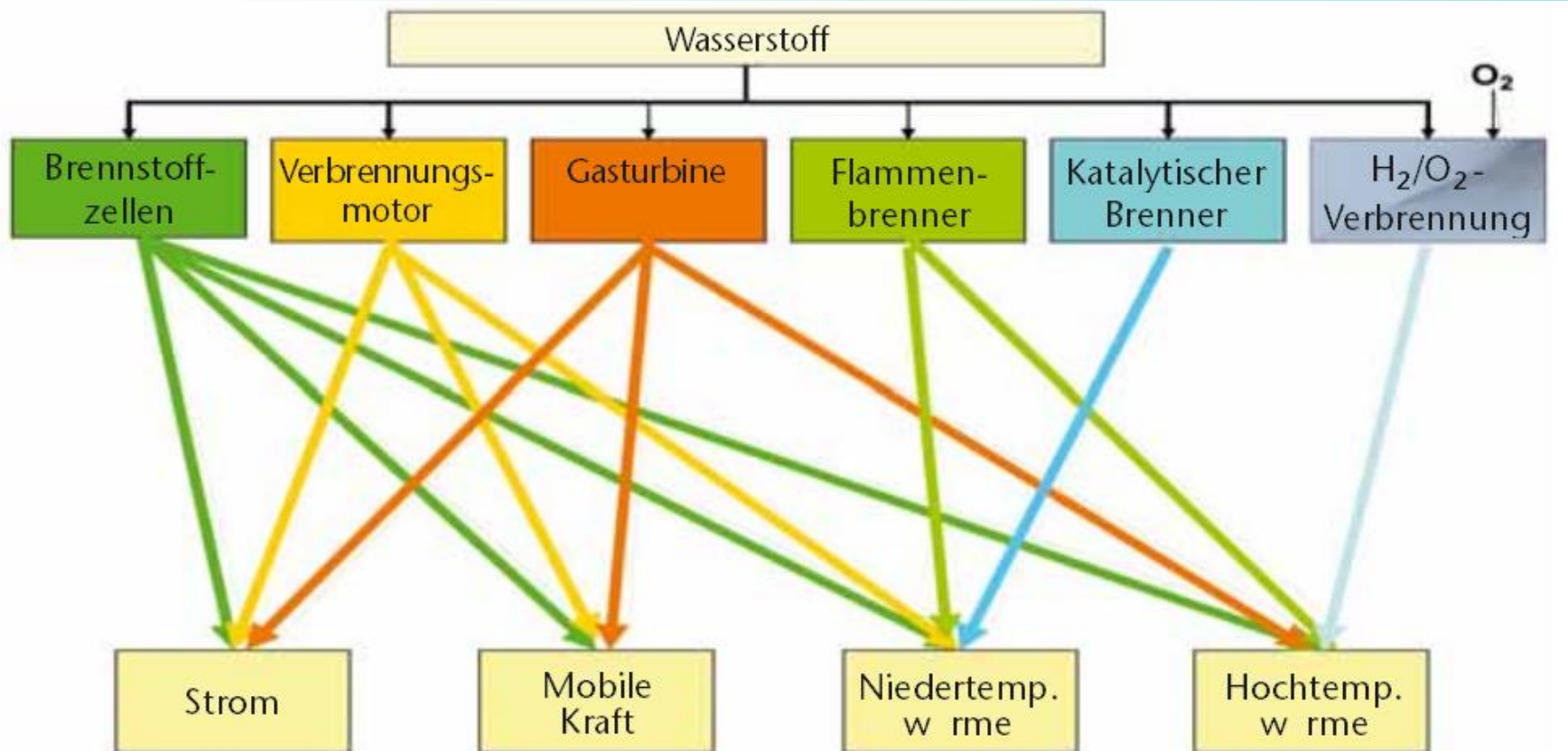


Verfahren zur Wasserstoffherstellung



Derzeit stammen 45% des Wasserstoffs aus Rohöl, 33% aus Erdgas, 15% aus Kohle und 7% aus Elektrolyseverfahren.

Anwendungen Wasserstoff



Wasser und Energie => H2



Zur Herstellung von einem Kilogramm Wasserstoff (Energieinhalt von 2,8 Litern Benzin) werden 9 kg Wasser und etwa 100 kWh Strom (einschließlich Elektrolyse, Verflüssigung, Transport, Lagerung und Verteilung) benötigt.

In Berlin gibt es rund 1.1 Mio Fahrzeuge die pro Tag, im Mittel 20km zurück legen und somit täglich 4l Wasser freisetzen. Dadurch ergibt sich eine jährliche Wasseremission von 1.7 Mio. Tonnen bzw. 4 pro mille der jährlichen Niederschlagsmenge.

Wie viel Wasser und Strom werden benötigt, um den Flugverkehr in Frankfurt/Main auf Wasserstoff umzustellen?

Am Frankfurter Flughafen werden täglich 50 Jumbo-Jets mit je 130 Tonnen (160 m³) Flugbenzin befüllt. Die gleiche Energiemenge steckt in 50 Tonnen (715 m³) flüssigem Wasserstoff. Zur Betankung aller Jumbos mit Wasserstoff müssten täglich 2.500 Tonnen Flüssigwasserstoff bereitgestellt werden, für dessen Herstellung man 22.500 m³ sauberes Wasser und die elektrische Leistung von acht Kraftwerken von je 1 GW benötigt (zum Vergleich: Das AKW Biblis hat eine Leistung von 1,3 GW). Für die Versorgung aller Flugzeuge des Flughafens mit Wasserstoff müsste man den Wasserverbrauch der Stadt Frankfurt und die Energie von mindestens 25 Großkraftwerken einsetzen.

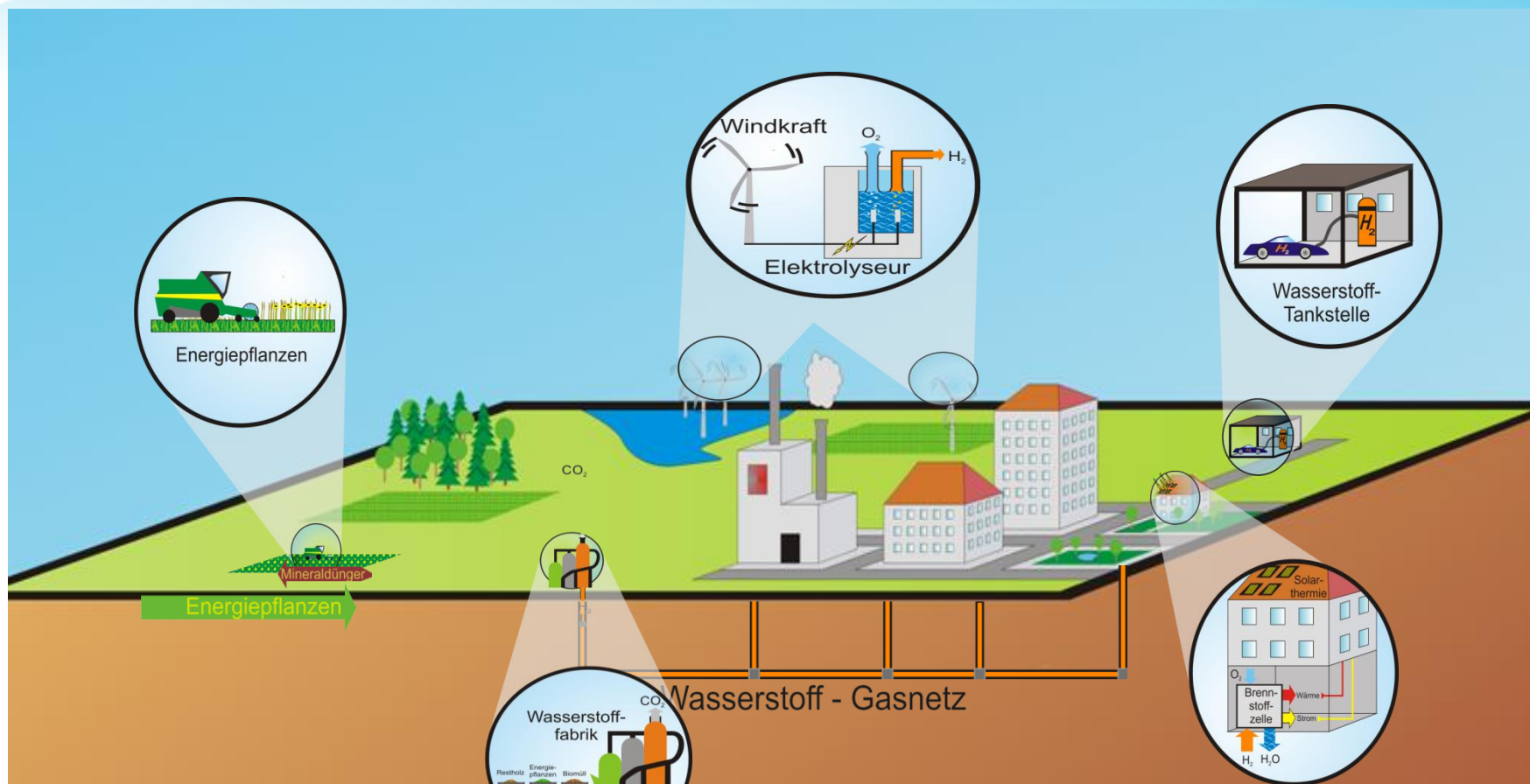
H2-Vorteile gegenüber anderen chemischen Energieträgern



Wasserstoff hat bei der Ausweitung des Versorgungsbeitrags von regenerativen Energiequellen (REG) aus mehreren Gründen gegenüber anderen chemischen Energieträgern **wesentliche Vorteile:**

1. Es wird ein Energieträger benötigt, der relativ einfach aus elektrischer Energie hergestellt werden kann, da diese längerfristig die Hauptenergieart einer intensiven Nutzung von REG-Energien sein wird und in technisch sehr großen Mengen bereitgestellt werden kann.
2. Die Überschüsse einer ausgedehnten Stromerzeugung aus REG sollten verhältnismäßig leicht und in flexibler Form, d.h. in sehr unterschiedlichen Leistungen bei möglichst großer Effizienz dezentral und zentral umgewandelt werden und damit wesentliche Beiträge zum Lastmanagement leisten können.
3. Der Energieträger muss multifunktional nutzbar sein, d.h. sowohl im Wärmebereich (Mittel- und Hochtemperaturbereich) wie auch als Kraftstoff eingesetzt werden können. Außerdem soll sein breiter Einsatz in fortschrittlichen Kraft-Wärme-Kopplungstechniken (Brennstoffzellen) und zur Spitzenlastdeckung (GuD-Kraftwerke) in effizienter Weise möglich sein.
4. Transport und Verteilung des Energieträgers sollten auf vorhandenen Infrastrukturen aufbauen können. Er muss zudem saisonal speicherbar sein. Diese Eigenschaften treffen nur auf REG-Wasserstoff zu.

Anwendungen Wasserstoff



Grundsätzlich kann Wasserstoff in seinen Nutzungsmöglichkeiten dem Erdgas gleichgesetzt werden. Alle gängigen Energiewandler (Flammenbrenner für Heizungen, für Industrie- und Kraftwerkskessel und zum Antrieb von Turbinen, sowie motorische Verbrennung) können mit gewissen Anpassungen auch mit Wasserstoff bzw. wasserstoffreichen Gasmischungen betrieben werden

Anwendungen Wasserstoff

Kraftstoff Erdgas

Man kann auch auf die Komprimierung verzichten, wenn man Abstriche bei der Aerodynamik in Kauf nimmt ...



*Erdgas-Gelenkbus
in China, nicht CNG!*



Technologien der Wasserstoffherstellung

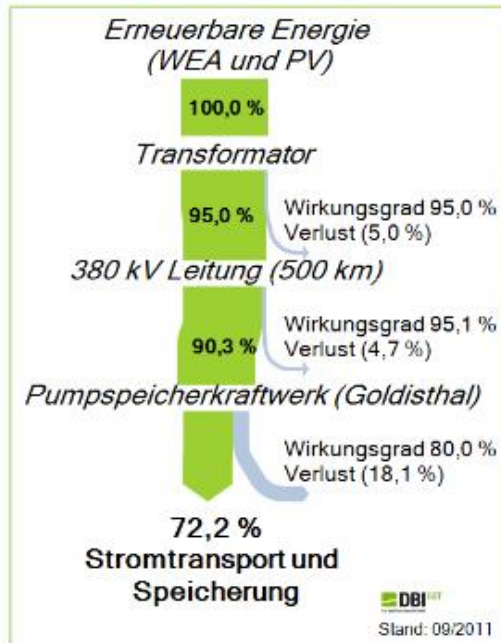


Technologie	Kurzbeschreibung
Dampfreformierung	Bei der Dampfreformierung werden Kohlenwasserstoffe durch allothermen oder autothermen Reaktion in Wasserstoff umgewandelt.
Partielle Oxidation	Bei der partiellen Oxidation wird Wasserstoff aus Kohlenwasserstoffen wie Erdgas oder Heizöl unter Sauerstoffmangel in einem exothermen Prozess umgesetzt.
Autotherme Reformierung	Die autotherme Reformierung ist eine Kombination aus Dampfreformierung und partieller Oxidation, um den Wirkungsgrad zu optimieren.
Kværner-Verfahren	Das vom norwegischen Unternehmen Kværner entwickelte Verfahren trennt Kohlenwasserstoffe in einem Plasmabrenner bei 1600 °C vollständig in Aktivkohle (reinen Kohlenstoff) und Wasserstoff.
Pyrolyse und Biomassevergasung	Bei der Pyrolyse wird Wasserstoff durch eine thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen erzeugt. Im Gegensatz zur Vergasung und zur Verbrennung geschieht dies ausschließlich unter der Einwirkung von Wärme und ohne zusätzlich zugeführten Sauerstoff.
Fermentation	Bei der Fermentation wird Wasserstoff durch anaerobe Mikroorganismen direkt aus Biomasse gewonnen.
Wasser-Elektrolyse	Bei der Wasser-Elektrolyse wird Wasserstoff mit einem Elektrolyseur durch elektrischen Strom erzeugt der an zwei Elektroden angelegt wird die sich im Wasser befinden.
Hochtemperatur-Elektrolyse	Wasser-Elektrolyse bei der durch hohe Temperaturen (bis 900 °C) der Wirkungsgrad verbessert wird
Chloralkali-Elektrolyse	Bei der Chloralkali-Elektrolyse entsteht Wasserstoff sowie Chlor als Nebenprodukt in der Chemischen Industrie
Thermochemische Herstellung	Oberhalb einer Temperatur von 1.700 °C vollzieht sich die direkte Spaltung von Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff. Diese Technologie ist interessant in Verbindung mit Solarturmkraftwerken .
Photobiologische Herstellung	Bei der photobiologischen Herstellung von Wasserstoff nehmen Algen Sonnenlicht auf. Durch die Beeinflussung der von ihnen betriebenen Photosynthese wird die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erreicht.
Biowasserstoffherstellung	Als Biowasserstoff wird Wasserstoff (H ₂) bezeichnet, der <i>aus</i> Biomasse oder <i>mitte</i> ls lebender Biomasse hergestellt wird.

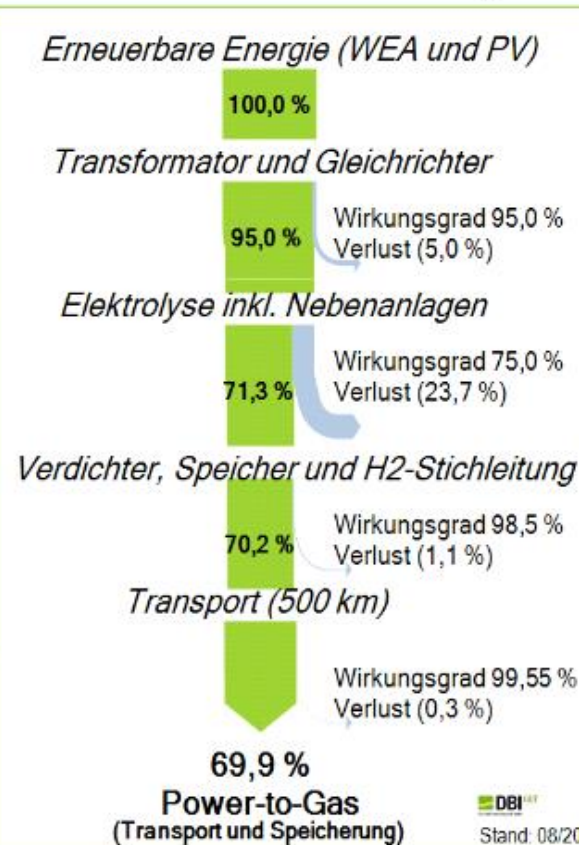


Nutzungsgrad Power-to-Gas

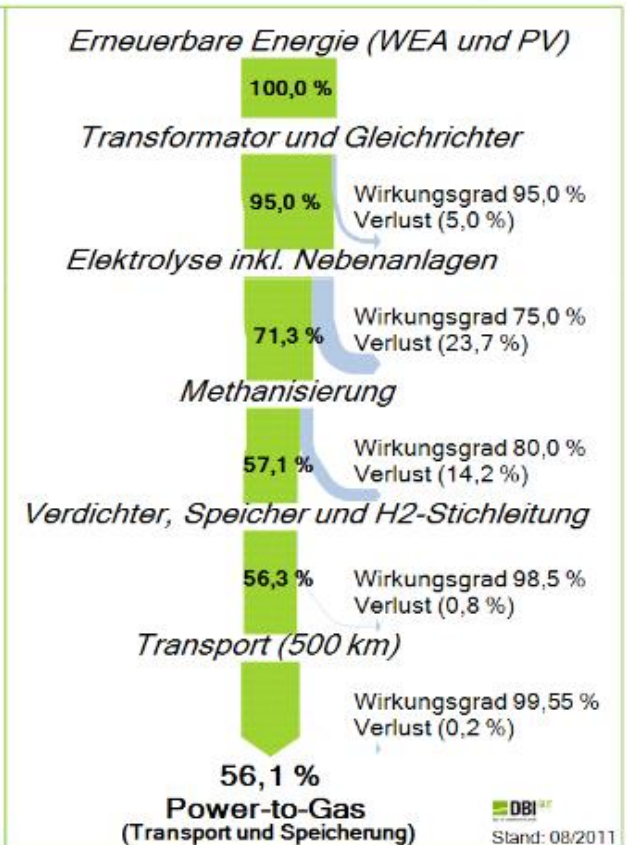
Stromtransport



Power-to-Gas „H₂“



„Power-to-Gas CH₄“



Goldisthal

H₂-Erzeugung aus Wind-Energie für Tankstellen



Wie teuer ist Wasserstoff?

Wasserstoffkosten Pilot- gegenüber Großanlage

	Pilotanlage 60 Nm ³ /h	Großanlage 60.000 Nm ³ /h
Investitionskosten	1,6 Mio. €	520 Mio. €
Elektrolyse	0,521 €/kWh (A)	0,156 €/kWh (A)
Kompression 150 bar	---	0,036 €/kWh (B)
Leitungsnetz 100 km	---	0,005 €/kWh (C)
Kompression 500 bar	0,128 €/kWh (B)	0,066 €/kWh (D) (0,107 €/kWh)
Tankstelle	0,048 €/kWh (C)	0,027 €/kWh (E)
Summe (ohne Steuern)	0,697 €/kWh 23 €/kg H₂	0,290 €/kWh 9,57€/kg H₂

Wasserstoffgestehungskosten für Alkaline- und PEM-Elektrolyse



Wasserstoffgestehungskosten für AEL und PEMEL

→ Nur Beispielrechnung, um Einflussparameter und Größenordnung zu verdeutlichen

Szenario Spezifikationen	A PEMEL	B AEL	C1 PEMEL	C2 PEMEL	D1 AEL	D2 AEL	Graforce
Anlagengröße [Nm ³ /h]	30	500	250	250	1500	1500	500
Systemwirkungsgrad [%]	64,4	78,7	86,3	86,3	82,3	82,3	89
Systemauslastung [%]	75	98	35	98	35	98	98
Investitionskosten [€/kW]	2.486	1.000	1.200	1200	800	800	350
Aufbau, Anlieferung [% der IK]	10	10	10	10	10	10	10
Wartung, Betrieb, Versicherung [%/a der IK]	4	4	4	4	4	4	4
Abschreibungszeitraum [a]	10	20	25	25	25	25	20
Verzinsung [%]	5	5	7,5	7,5	7,5	7,5	5
Stromkosten [€/kWh]	0,090	0,075	0,030	0,050	0,030	0,050	0,075
Wasserstoffgestehungskosten [€/kg]	9,03	4,50	3,85	3,17	3,17	3,01	2,80
Fixkosten [%]	39,0	16,6	64,4	27,9	54,7	20,5	
Variable Kosten [%]	61,0	83,4	35,6	72,1	45,3	79,5	

Kostenbilanz Wasserstoffherstellung verschiedener Studien

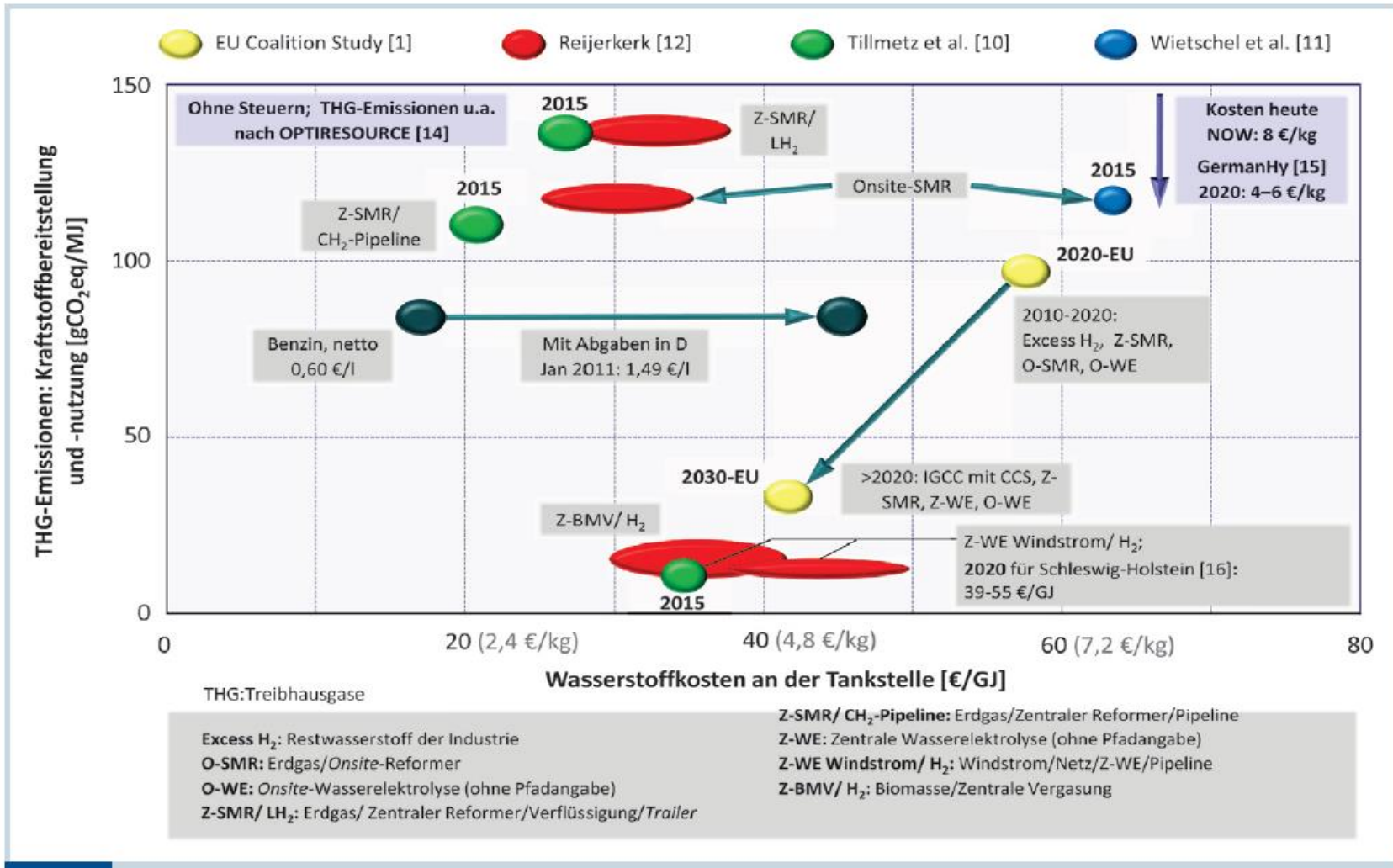


Verfahren/Prozess	Literaturwerte [€/kg]	
Erdgasreformierung	Zentral [5]:	0,7-0,96
	Zentral [7]:	1,33
	Zentral [10]:	1,5
	Dezentral [10]:	7,2
	Dezentral [9]:	4-17
	Dezentral [5]:	1,9-2,6
Wasserelektrolyse (Windstrom)	Zentral [5]:	4,9
	Zentral [7]:	6-8
	Zentral [10]:	5,2
	Dezentral [8]:	8-11
	Dezentral [10]:	6,6
Biomasse-basiert	Zentral [5] via Reformierung:	1,6-1,9
	Zentral [10] via Vergasung:	1,4-1,7
	Dezentral [10] via Vergasung:	2,5-2,9
Photobiologische Erzeugung	Planung [5]:	6
Solarturmerzeugung	Planung [7]:	1,4

Verschiedene Projektkonzepte:

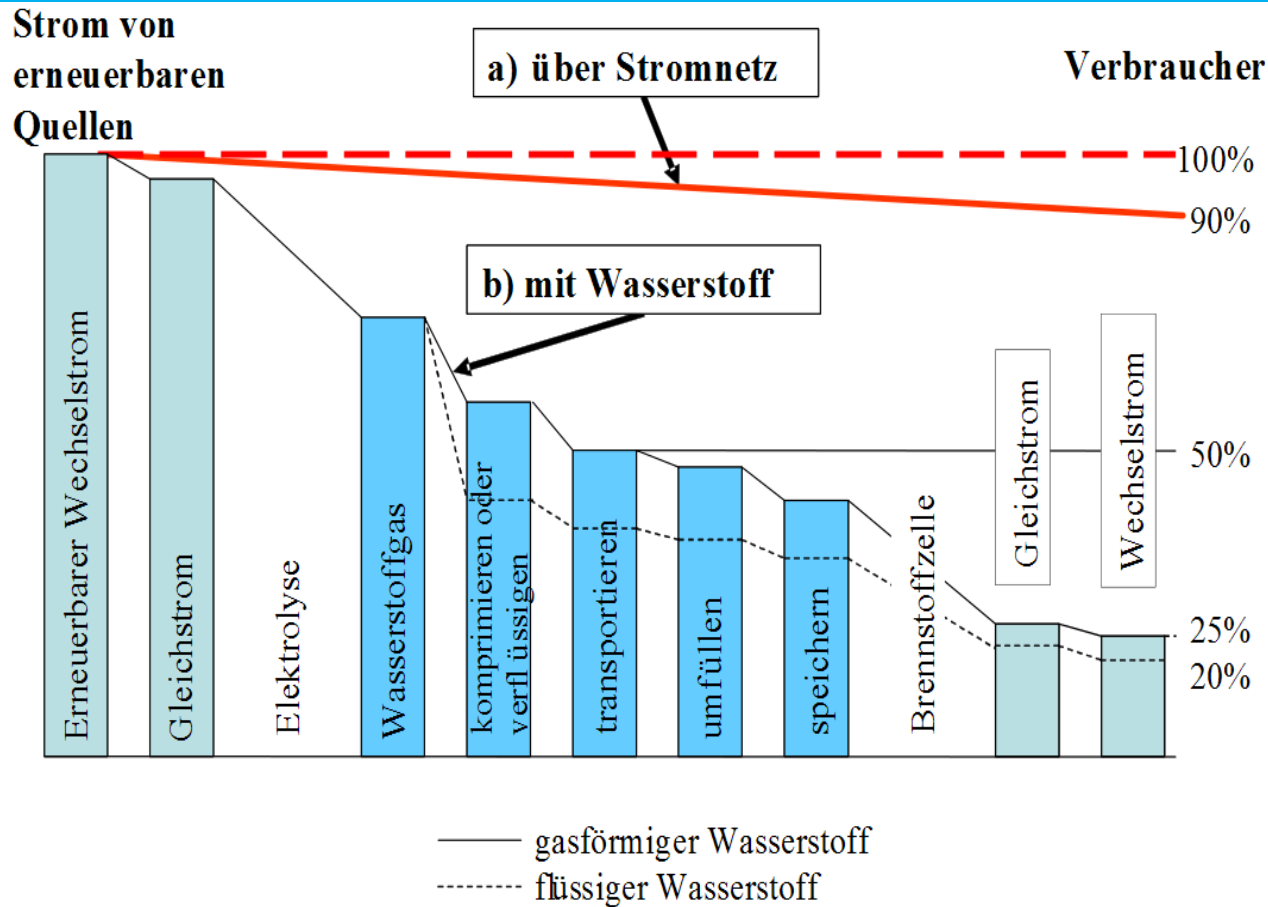
- Größe der Anlagen (11kg-160 t)
- Anlagekosten
- Abschreibungsdauer
- Transportpfade (LKW o. Pipeline)
- z.T. ohne Erläuterung der Verfahren
- versch. Erdgaskosten (5-11€/GJ)
- unbekannte fiskalische Vorgaben

Wasserstoffkosten an der Tankstelle



Nicht alle Quellen bieten nähere Definitionen mit Bezug auf Substitutionsszenarien, Primärenergie- sowie Anlagenkosten mit Skaleneffekten, Transportpfaden und Tankstellenkosten.

Energieverluste bei Wasserstoffbereitstellung



© Ulf Bossel

Die Energievernichtungskaskade der Wasserstoffwirtschaft (Bossel et al., 2003)

Zwischen Ölquelle und Tankstelle ergeben sich 8 bis 12 % Verluste für Förderung, Raffinieren und Transport.

Bei Wasserstoff gehen jedoch von der Elektrolyse bis zur Wasserstofftankstelle mindestens 50% verloren oder müssen für Kompression, Verflüssigung, Transport, Umfüllen usw. aufgewendet werden.

Bei Rückverstromung des Wasserstoffs mit Brennstoffzellen bleiben nur etwa 25 % des ursprünglich eingesetzten Stroms übrig.

Energieverluste bei Wasserstoffanwendung



Verfahrensschritte	Technische Angaben	Energieverluste (MJ/kg H ₂)	Verluste (% des Ho von H ₂)
Elektrolyse	1,76 Volt, 1 atm	61	43 %
Kompression	1 bar – 200 bar	10	7 %
	1 bar – 400 bar	13	9 %
	1 bar – 800 bar	17	12 %
Verflüssigung	100 kg/h	65	46 %
	1.000 kg/h	45	32 %
	10.000 kg/h	35	28 %
Strassentransport	200 bar, 200 km	18	13 %
	200 bar, 400 km	36	25 %
	flüssig, 200 km	3	2 %
Pipeline	10 bar, 1.000 km	12	8 %
H ₂ -Elektrolyse an Tankstelle	entspricht 60.000 Liter Benzin pro Tag	80*	56 %
Betanken	100 bar – 400 bar	5	4 %
Brennstoffzelle	Verstromung	142**	50 %

* einschl. Wasseraufbereitung, Kompression, Gebäudeenergiebedarf usw.

** der Brennwert (Ho) von Wasserstoff beträgt 142 MJ/kg

Quelle: Bossel et al., 2003



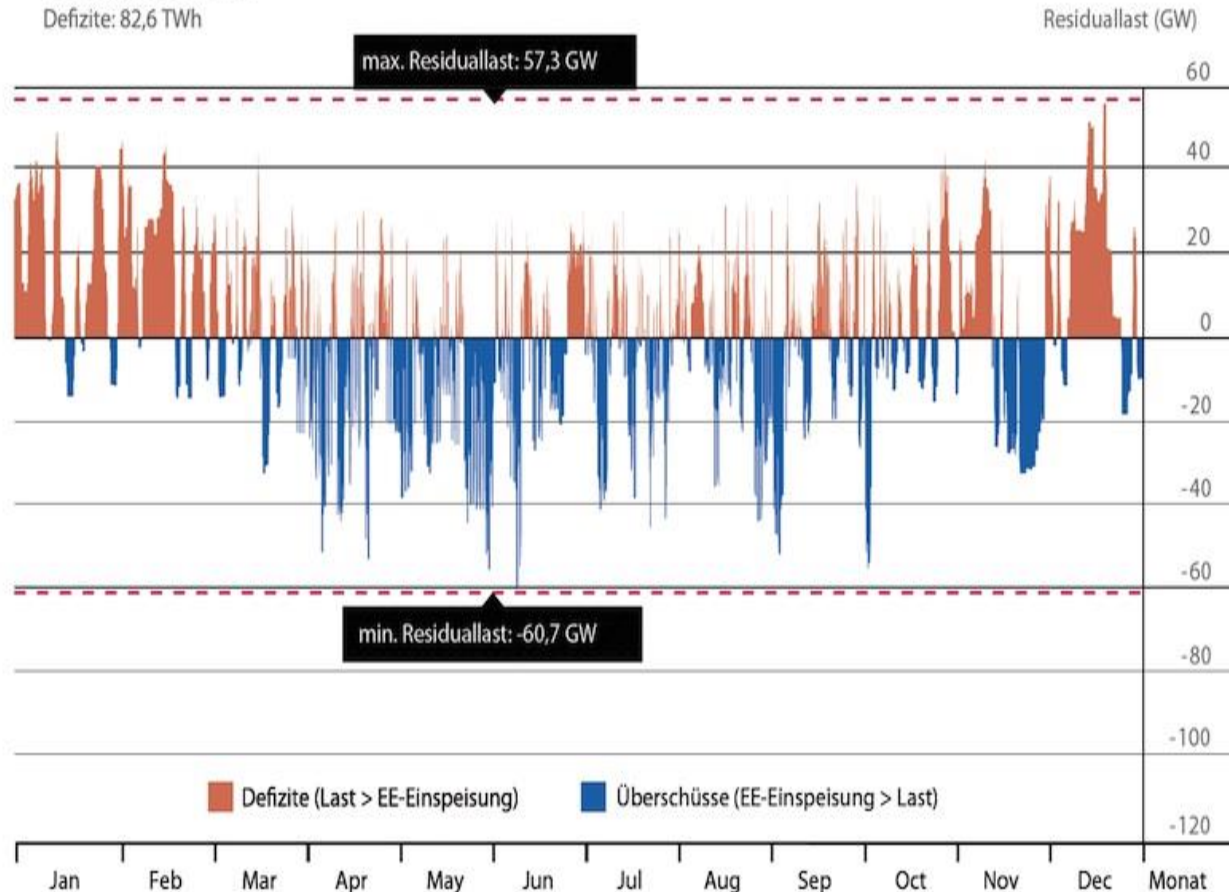
Tab. 1: Typischer Energiebedarf für Erzeugung, Kompression bzw. Verflüssigung, Transport und Nutzung von Wasserstoff

Warum H2 speichern ?

Residuallast mit allen Verbrauchern und Lastmanagement, nach PSW (Meteo-Jahr 2009)

Überschüsse: -78,5 TWh

Defizite: 82,6 TWh



Aufgrund der Wetterlage gab es zwei Wochen ein massives Defizit an Wind- und Sonnenstrom.

In der Woche vor und nach diesem Ereignis gibt es einen massiven Energieüberschuss.

Hier hat man die Wahl zwischen „Windräder abschalten“ oder die elektrische Energie mit eher schlechten Wirkungsgraden (unter 50%) über den Umweg des Wasserstoffs oder des künstlichen Methans zumindest teilweise zu einem späteren Zeitpunkt wieder nutzbar zu machen. Strom ersetzt auf diese Weise kostbare Kohlenwasserstoffe aus dem Sektor der Biomassenutzung.

Die Grafik zeigt den Verlauf von Mangel und Überfluss über ein ganzes Jahr.

Zusammenfassung



- H₂-Kosten stark abhängig von Herstellungsverfahren, Anlagengröße und Energiekosten (Erdgas, Strom, Biomasse); 0,7-17 €/kg H₂ [5, 7, 8, 9, 10]
- H₂-Transportkosten mit Pipeline-Infrastrukturen abhängig von
 - *spezifischer Investition*
 - *erforderlicher Länge der Rohrleitungen im Transmissionsnetz für den überregionalen Transport und im Distributionsnetz für lokale Verteilung*
 - *Auslastung des Pipeline-Netzwerks, v. a. in den sich teilweise überlagernden Zeiträumen für den Aufbau des Wasserstofffahrzeugbestands bzw. der Infrastruktur (Abschätzung: 0,5-2,5 €/kg auf Basis von [11])*
- 3 Mrd. € Infrastrukturinvestition bis 2020 für maximal 1 Mio. Fahrzeuge [1]
- Tankstellenkosten (ggf. ohne *onsite* H₂-Herstellung) 1,2 €/kg [10]

[1] EU Coalition Study (2010)

[5] Trudewind et al. (2007)

[7] Sattler (2010)

[8] Kwapis et al. (2010)

[9] Smolenaars (2019)

[10] Tillmetz et al. (2010)

[11] Wietschel et al. (2010)

Kontakt

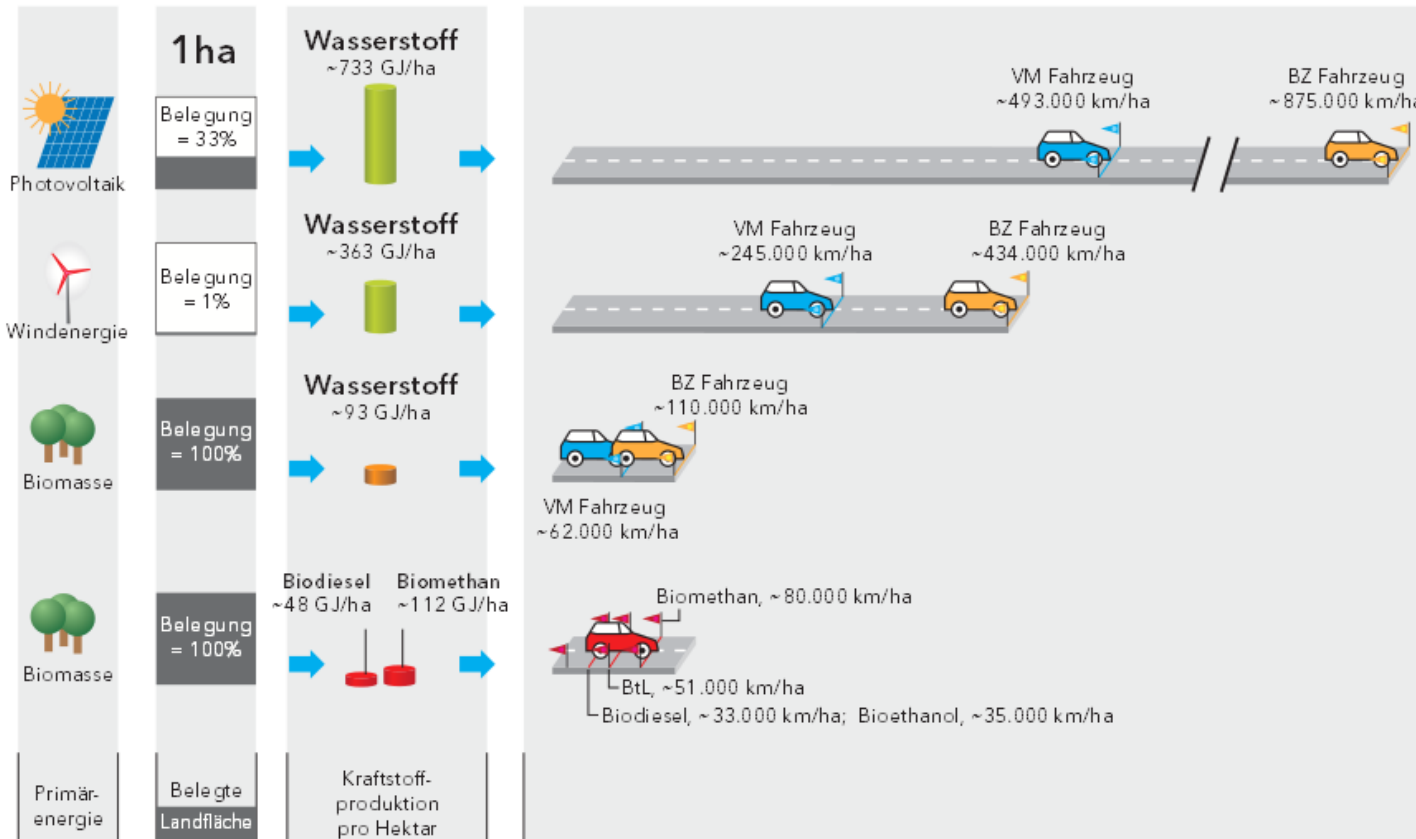


Graforce Hydro GmbH
Dr. Jens Hanke / Dr. Ramin Radmanesh
Lutherstr. 9 · D- 06886 Wittenberg, Germany
phone + 49 30 936 259 29 ·
hanke@graforce.de · www.graforce.de



Flächenbedarf für erneuerbare Kraftstoffe

Flächenbedarf für erneuerbare Kraftstoffe: Nutzung eines Hektars Land für die Kraftstoffproduktion



ha=Hektar, VM=Verbrennungsmotor, BZ=Brennstoffzelle Referenzfahrzeug: VW Golf [Concawe/EUCAR/JRC 2006], Ø Fahrleistung=12.500 km/Jahr

Herstellungsverfahren für Wasserstoff

Tabelle 1: Vergleich der wichtigsten Eckdaten verschiedener Wasserelektrolyseure

Parameter	Einheit	Alkalische Elektrolyse	Fortgeschr. Alkalische Elektrolyse	Membran-Elektrolyse	HT-Elektrolyse (autotherm)	HT-Elektrolyse (allotherm)
Temperatur	°C	80	90-120	120	900	900
Druck	bar	15	30	30	20	20
Elektrische Energie	kWh _{el} /Nm ³ H ₂	4,6	4,0	4,0	3,2	2,6
NT-Wärme	kWh _{th} /Nm ³ H ₂				0,6	0,6
HT-Wärme	kWh _{th} /Nm ³ H ₂					0,5
Primärenergie*	kWh/Nm ³ H ₂	12,8	11,1	11,1	9,6	8,6

* $\eta_{el} = 36\%$, $\eta_{th} = 90\%$, $\eta_{Erdgas} = 90\%$ (1 Nm³ H₂ = 3 kWh (Hu))

Tabelle 2: Eckdaten ausgewählter Wasserstoffherstellungsverfahren für die fossile, die biogene und die elektrolytische Wasserstoffherstellung [Pehnt 2002; Dreier/Wagner 2001; Winter/Nitsch 1989; BMBF 1995; Enquete 1989, DLR 1990] ²

	Dampfreformierung von Erdgas		Vergasung von Biomasse		Alkalische Wasserelektrolyse (Modul)	
	heute	> 2020	heute	> 2020	heute	> 2020
H ₂ - Produktion , Nm ³ /h	100 000	100 000	13 000	13 000	500	500
MW _{H₂}	300	300	40	40	1,5	1,5
Lieferleistung Rohstoff, MW	405	385	55 ¹⁾	53 ¹⁾	-	-
Strombedarf, MW	1,5	1,5	3,0	2,8	2,05	1,95
Prozessnutzungsgrad, %	74	78	73	76	73	77
Wasserbedarf, m ³ /h	58	58	28	28	0,43	0,43
Arbeitsdruck, bar	30	30	50	50	30	100
Bereitstellungsnutzungsgrad von GH ₂ frei Verbraucher (einschließlich Anlagenerstellung, Rohstoffbeschaffung, Hilfsenergie), %	64	68	60	66	63 ²⁾	67 ²⁾
Investitionskosten, EUR/kW _{H₂}	350	350	ca. 700	ca. 500	1 000	ca. 700

1) entspricht rund 12 t/h Holz; 2) ohne Bereitstellung des regenerativen Stroms, jedoch unter Berücksichtigung von Transportverlusten über 3 000 km mittels HGÜ

Entwickler von Elektrolysestacks und -systemen



Anzahl Mitarbeiter für EL

	Welt	D
AEL	< 500	< 30
PEMEL	< 200	< 20

→ Entwickler von Elektrolysestacks und -systemen:

- Accagen
- Acta
- Astrium
- Avalance
- CETH
- Claind
- DiamondLite
- DominikHunter
- ELT / ELB
- Epoch
- FuMA-Tech
- GE
- Giner

- GS Yuasa
- H2 Logic
- Hamilton Sundstrand
- Heliocentris
- Helion
- h-tec
- Hydrogen Energy
- Hydrogenics
- IHT
- ITM Power
- Jingli H2 Making
- Matheson Tri-Gas
- NIC NEP

- PERIC
- Piel
- Proton Energy Systems
- Sagim
- Schmidlin
- Shin Tek
- Siemens
- Statoil HT
- Sylatech
- Teledyne
- Treadwell
- Uralkhimmasch
- Wasserelektrolyse HT

Warum H₂ speichern ?



- Kurzfristige und langfristige Speicherung
- Vielfältige Märkte für Wasserstoff
 - Treibstoff
 - Industriegas
 - Hausenergieversorgung
 - Spitzenlastproduktion
- Umweltfreundlich und nachhaltig herstellbar