

Ist unsere Mobilität in Zeiten des Klimawandels noch zu retten?

Wasserstoff im Verbrennungsmotor.

Utopie oder Realität?

Dipl.-Ing. Ulrich Baretzky
23.5.2022



1. Einführung
2. Grundlegende Betrachtungen
3. Energiesituation in D
4. Grüner Wasserstoff
5. E-Fuels
6. Antriebsarten im Pkw
- ein Vergleich
7. Wasserstoff im Pkw
8. Zusammenfassung





2. Grundlegende Betrachtungen

- Größenordnungen und Beispiele
- Globale Energiesituation
- Woher kommt unsere Energie überhaupt?
- Und was ist eigentlich grüne Energie?

Ein paar Beispiele zur Einordnung



Leistung 1400 MW (1,4 TW)
11TWh Strom/Jahr

Ein paar Beispiele zur Einordnung



Leistung 1400 MW (1,4 TW)
11TWh Strom/Jahr



Leistung 6 MW
1 GWh Strom/Jahr

Ein paar Beispiele zur Einordnung



Leistung 1400 MW (1,4 TW)
11TWh Strom/Jahr



Leistung 6 MW
1 GWh Strom/Jahr



Leistung 120 KW
Verbrauch 8l/100 km
10 000 km/Jahr > 800 l
800 l Benzin >< 6,8 MWh

Ein paar Beispiele zur Einordnung



Leistung 1400 MW (1,4 TW)
11TWh Strom/Jahr



Leistung 6 MW
1 GWh Strom/Jahr



Leistung 120 KW
Verbrauch 8l/100 km
10 000 km/Jahr > 800 l
800 l Benzin >< 6,8 MWh

Energiesituation global



Energiesituation global

Energieverbrauch 2020 : 100 000 TWh



Energiesituation global

Energieverbrauch 2020 : 100 000 TWh

CO2 Neutralität global: 2050 oder früher!



Energiesituation global

Wo soll bitte die ganze grüne Energie
herkommen ?



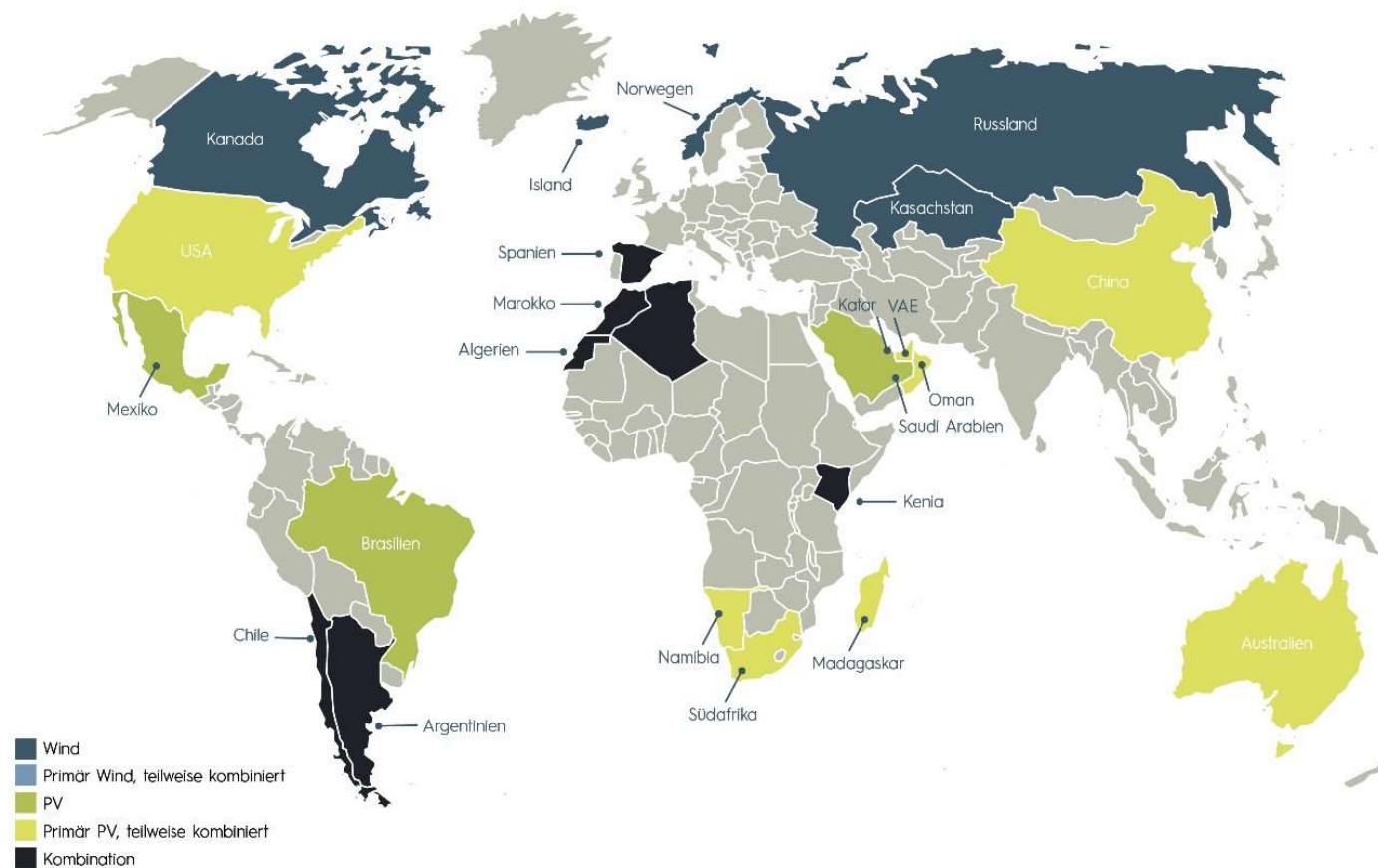


Energiesituation global

Die Sonne liefert **jedes Jahr 1,5 Mrd. TWh**
grüne Energie

- in Form von Strahlung, Wind und Biomasse.
- Wir müssen lernen, diese Energie zu ernten und damit richtig umzugehen !

Verteilung der grünen Energiepotentiale für PtX



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Illustrative Darstellung der stärksten identifizierten RES-Potentiale; keine umfangreiche Liste aller Länder

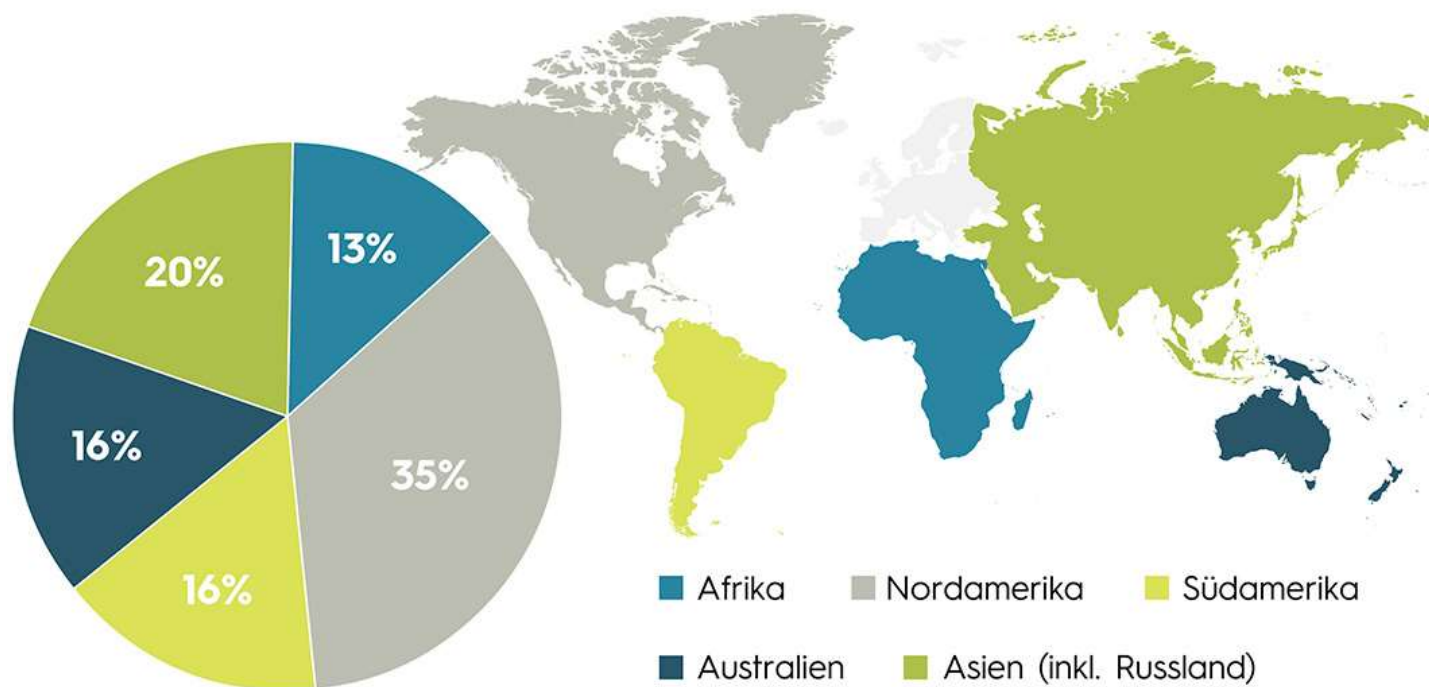
Verteilung der grünen Energiepotentiale für PtX



Quelle: Frontier Economics

Hinweis: Illustrative Darstellung der stärksten identifizierten RES-Potentiale; keine umfangreiche Liste aller Länder

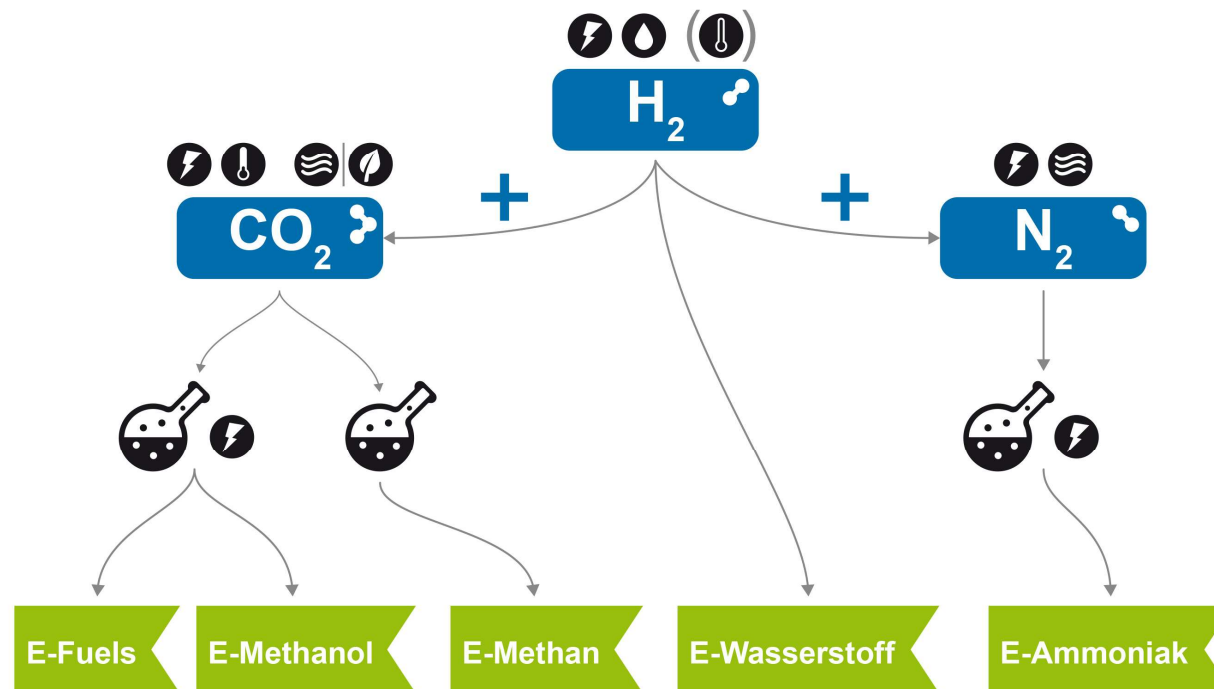
Prozentuale Verteilung der PtX Potentiale



Power to X (PtX)

Power-to-X: Überblick Ausgangsstoffe, Prozesse und PtX-Produkte

Wie aus Strom Brennstoffe und chemische Grundstoffe entstehen



Zufuhr von:

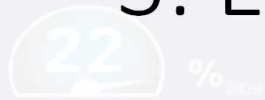
Strom Wasser Luft Niedertemperaturwärme Hochtemperaturwärme nachhaltige Biomasse

Syntheseprozess



3. Energiesituation in Deutschland

Kraftstoff



Anteil am Kraftstoffverbrauch (Straße, einschließlich Elektrofahrzeuge) 2020

Wärme



Anteil am Wärmeverbrauch 2020

Strom



Anteil am Stromverbrauch 2020



DER STROMMIX IN DEUTSCHLAND 2021 [NETTO]

Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung

Konventionelle Energien: 266 TWh

Sonstige

Erneuerbare Energien: 224 TWh

Anteil am Strommix: 45,7 %

Anteil 2020: 50,5 %

Kernenergie

65,3 TWh
+7 % zu 2020

Erdgas

51,1 TWh
-10,5 % zu 2020

Steinkohle

46,4 TWh
+30,8 % zu 2020

Braunkohle

98,9 TWh
+20,4 % zu 2020

Windkraft

112,7 TWh
-14,5 % zu 2020

Photovoltaik

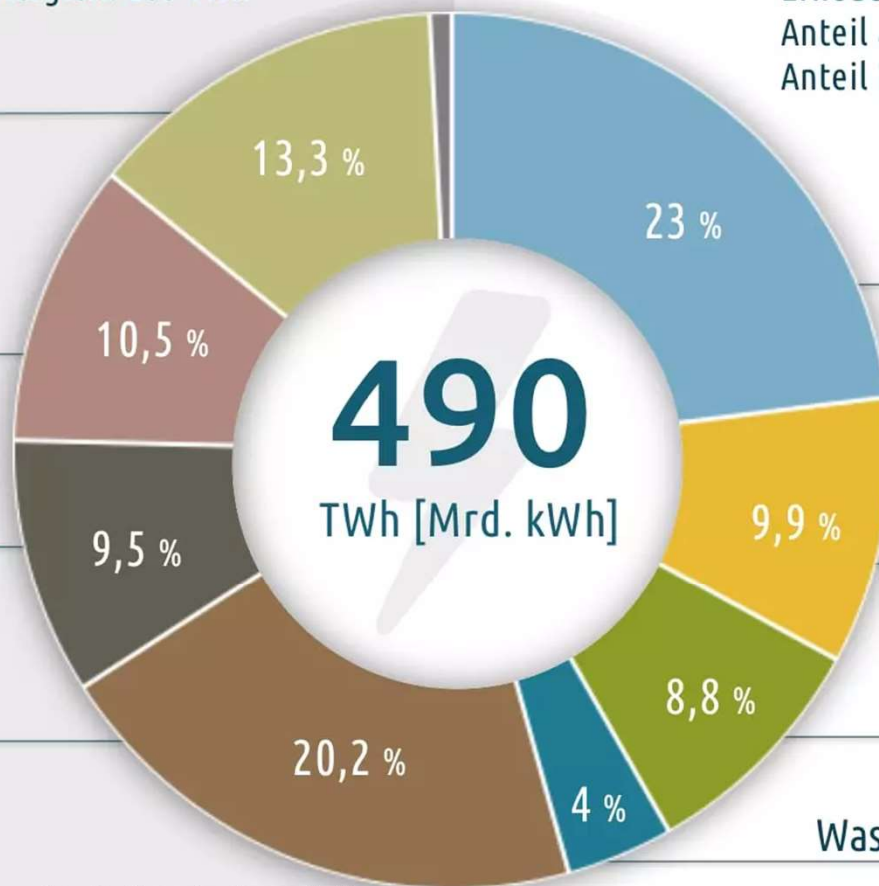
48,4 TWh
-5 % zu 2020

Biomasse

43,1 TWh

Wasserkraft

19,3 TWh



490
TWh [Mrd. kWh]

Es wird die Nettoproduktion aller Kraftwerke dargestellt.

Daten: Fraunhofer ISE 2021

<https://strom-report.de/strom>



STROM-REPORT

Woher kommt die Energie in Deutschland aktuell?

Primärenergieimporte

Energieträger	Importquote 2020*	Anteil des Energieträgers am Primärenergieverbrauch 2020	Anteil des Energieträgers an der Bruttostromerzeugung 2020
Braunkohle	-2,2 %	8,0 %	16,0 %
Steinkohle	100,0 %	7,5 %	11,3 %
Uran	100,0 %	5,9 %	11,3 %
Mineralöl	98,0 %	34,3 %	16,1 %
Erdgas**	94,4 %	26,5 %	0,8 %
Erneuerbare Energien***	0,8 %	16,5 %	43,9 %

* Anteil des Primärenergieverbrauchs, der nicht durch Gewinnung im Inland gedeckt ist. (Eine negative Angabe bedeutet, dass im Inland vom jeweiligen Energieträger mehr gewonnen als verbraucht wurde. Der Überschuss wurde entweder exportiert oder den Vorräten hinzugefügt.)

** Importquote für Naturgase (Erdgas, Erdölgas, Grubengas)

*** Importiert werden Anteile der Energieträger "feste biogene Stoffe" (darunter Holzkohle), "flüssige biogene Stoffe" und "Biokraftstoffe"

Quelle: Umweltbundesamt, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und auf Basis von: AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2020, Stand 09/2021; AG Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2020 nach Energieträgern, Stand 02/2021

Woher kommt die Energie in Deutschland aktuell?

Primärenergieimporte

Energieträger	Importquote 2020*	Anteil des Energieträgers am Primärenergieverbrauch 2020	Anteil des Energieträgers an der Bruttostromerzeugung 2020
Braunkohle	-2,2 %	8,0 %	16,0 %
Steinkohle	100,0 %	7,5 %	11,3 %
Uran	100,0 %	5,9 %	11,3 %
Mineralöl	98,0 %	34,3 %	16,1 %
Erdgas**	94,4 %	26,5 %	0,8 %
Erneuerbare Energien***	0,8 %	16,5 %	43,9 %

* Anteil des Primärenergieverbrauchs, der nicht durch Gewinnung im Inland gedeckt ist. (Eine negative Angabe bedeutet, dass im Inland vom jeweiligen Energieträger mehr gewonnen als verbraucht wurde. Der Überschuss wurde entweder exportiert oder den Vorräten hinzugefügt.)

** Importquote für Naturgase (Erdgas, Erdölgas, Grubengas)

*** Importiert werden Anteile der Energieträger "feste biogene Stoffe" (darunter Holzkohle), "flüssige biogene Stoffe" und "Biokraftstoffe"

Quelle: Umweltbundesamt, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) und auf Basis von: AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2020, Stand 09/2021; AG Energiebilanzen, Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2020 nach Energieträgern, Stand 02/2021

4. Was ist eigentlich grüner Wasserstoff

- Herstellung
- Eigenschaften

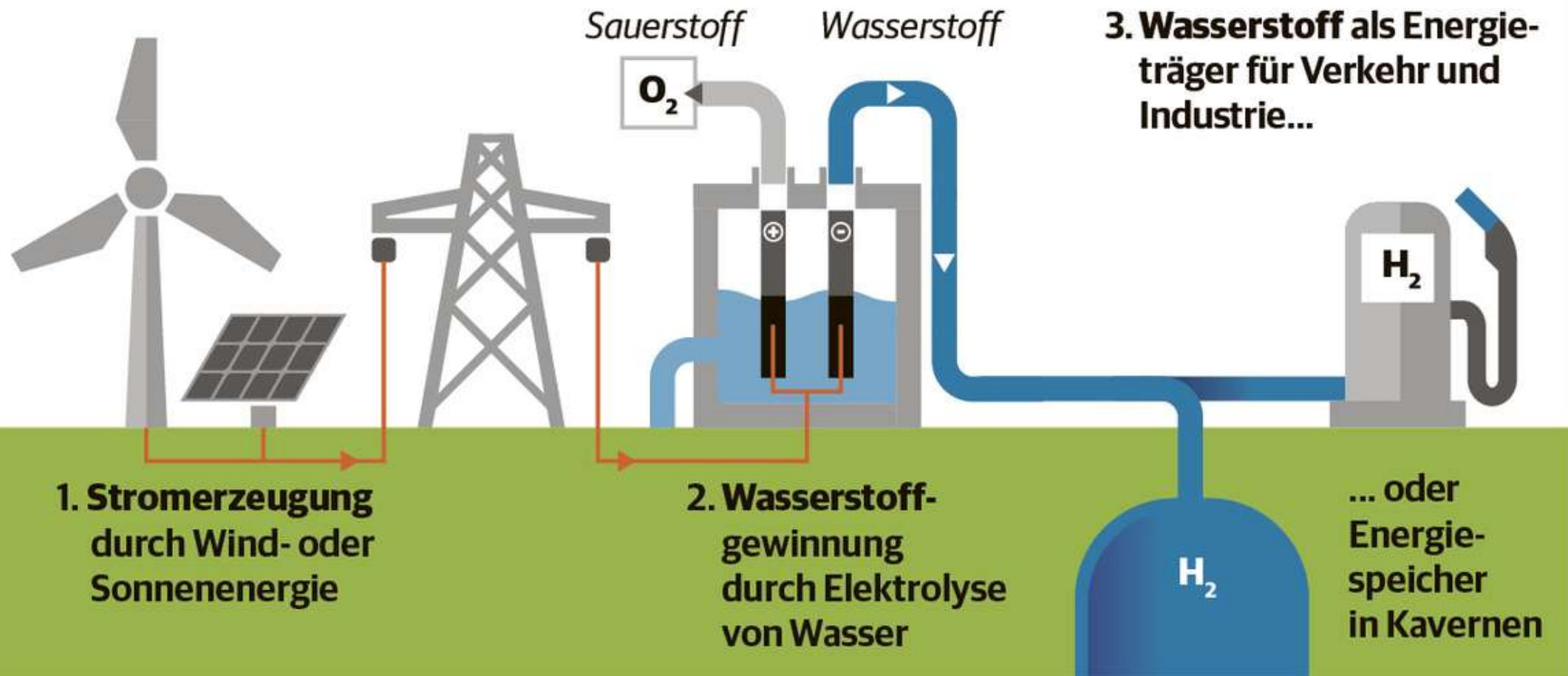


Was ist Wasserstoff?

[illegible]

WASSERSTOFF ALS UMWELTFREUNDLICHER ENERGIETRÄGER

Möglichkeiten zur Gewinnung und Nutzung von Wasserstoff



vereinfachte Darstellung

Quelle: Helmholtzinstitut, dpa

Wie wird **Wasserstoff** (H_2) erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- **Grüner** Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H_2O) und **grünem** Strom erzeugt.

Wie wird Wasserstoff (H_2) erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H_2O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H_2 zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren

Wie wird **Wasserstoff** (H_2) erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H_2O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H_2 zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H_2 beträgt 33 KWh,
von 1 kg Benzin 11 KWh

Wie wird **Wasserstoff (H₂)** erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H₂O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H₂ zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H₂ beträgt 33 KWh, von 1 kg Benzin 11 KWh
- H₂ ist gasförmig, erst bei -252 °C flüssig.
1 m³ H₂ wiegt 90 Gramm. > Das Volumen 1 kg H₂ ist 11,2 m³

Wie wird **Wasserstoff (H₂)** erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H₂O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H₂ zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H₂ beträgt 33 KWh, von 1 kg Benzin 11 KWh
- H₂ ist gasförmig, erst bei -252 °C flüssig. 1 m³ H₂ wiegt 90 Gramm.
- 1 kg H₂ bei 720 bar hat ein Volumen von 25l

Wie wird **Wasserstoff (H₂)** erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H₂O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H₂ zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H₂ beträgt 33 KWh, von 1 kg Benzin 11 KWh
- H₂ ist gasförmig, erst bei -252 °C flüssig. 1 m³ H₂ wiegt 90 Gramm.
- 1 kg H₂ hat ein Volumen von 25l bei 720 bar
- **1 kg H₂ kostet in Deutschland aktuell ca. 9,5 €.**

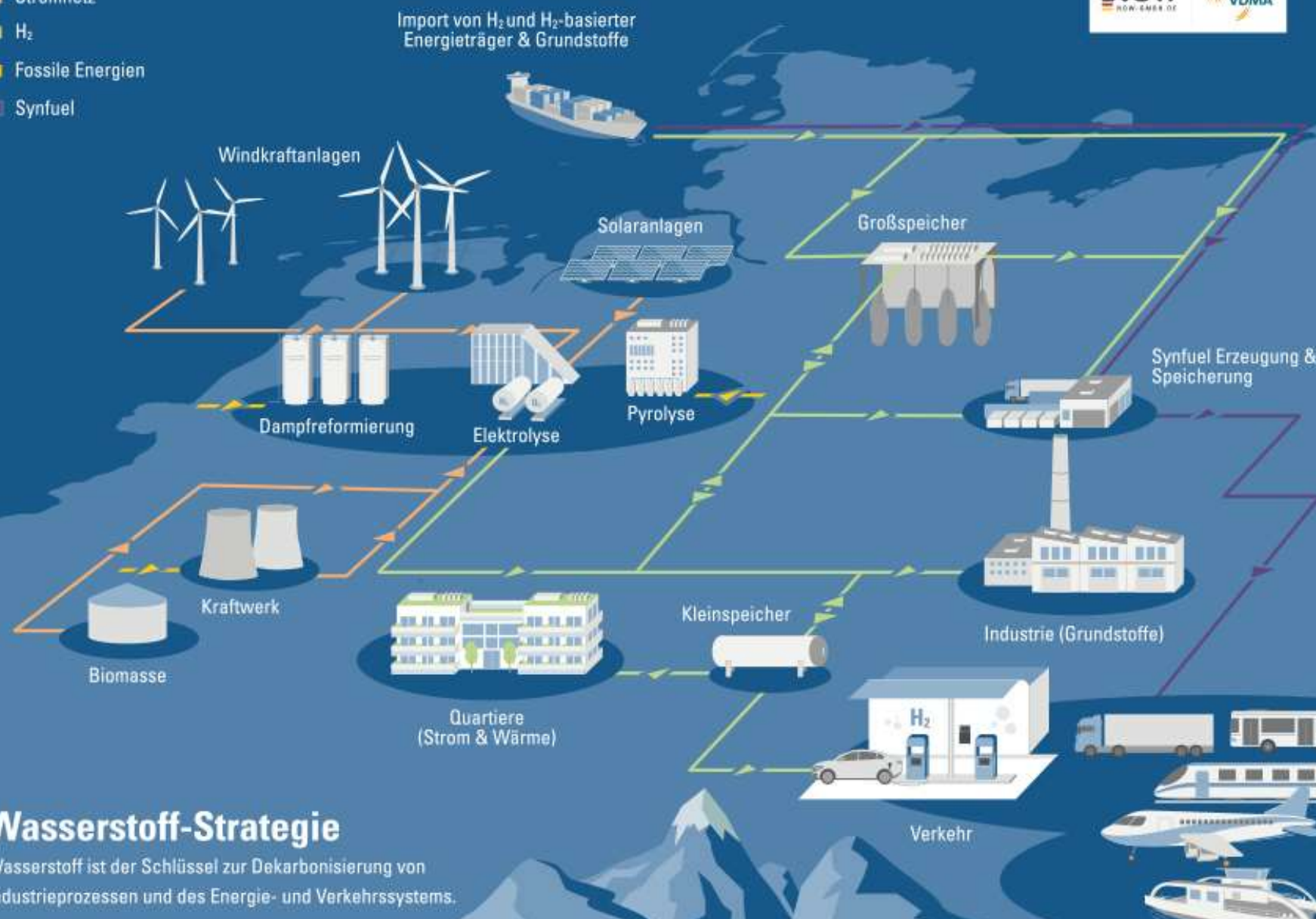
Wie wird Wasserstoff (H_2) erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- Grüner Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H_2O) und grünem Strom erzeugt.
- Um 1 kg H_2 zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H_2 beträgt 33 KWh, von 1 kg Benzin 11 KWh
- H_2 ist gasförmig, erst bei -252 °C flüssig. 1 m^3 H_2 wiegt 90 Gramm.
- 1 kg H_2 hat ein Volumen von 25l bei 720 bar
- 1 kg H_2 kostet in Deutschland aktuell ca. 9,5 €.
- 1 KWh H_2 kostet in der Herstellung aktuell zwischen 5 und 8 Ct (+ Stromkosten!)

Wie wird Wasserstoff (H_2) erzeugt und welche Eigenschaften hat Wasserstoff?

- **Grüner** Wasserstoff wird überwiegend durch Elektrolyse aus Wasser (H_2O) und **grünem** Strom erzeugt.
- Um 1 kg H_2 zu erzeugen werden 50 KWh elektrische Energie benötigt, dabei geht etwa 33 % der elektrischen Energie durch Wärme verloren
- Die Energie von 1 kg H_2 beträgt 33 KWh, von 1 kg Benzin 11 KWh
- H_2 ist gasförmig, erst bei -252 °C flüssig. 1 m^3 H_2 wiegt 90 Gramm.
- 1 kg H_2 hat ein Volumen von 25l bei 720 bar
- 1 kg H_2 kostet in Deutschland aktuell ca. 9,5 €.
- 1 KWh H_2 kostet in der Herstellung aktuell zwischen 5 und 8 Ct (+ Stromkosten!)

- Stromnetz
- H₂
- Fossile Energien
- Synfuel



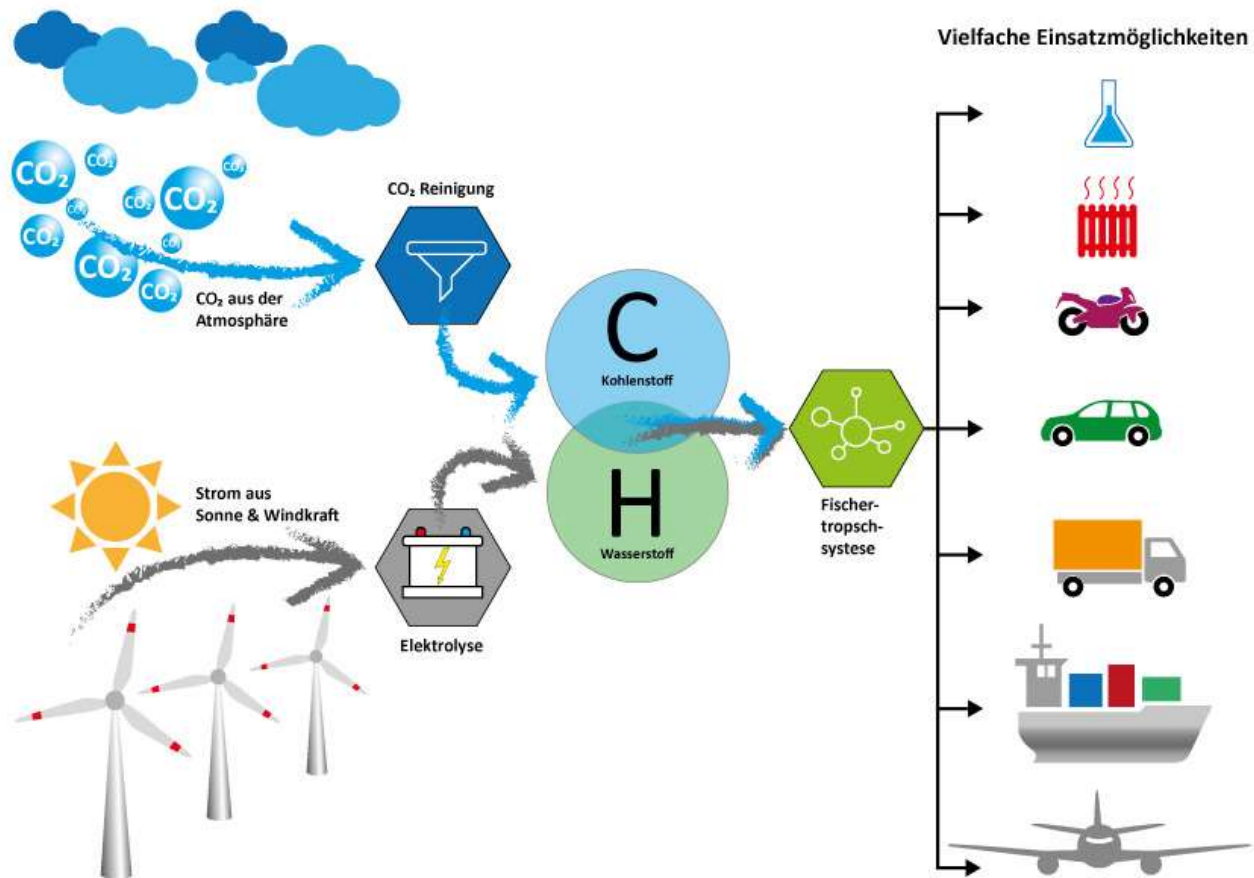
Wasserstoff-Strategie

Wasserstoff ist der Schlüssel zur Dekarbonisierung von Industrieprozessen und des Energie- und Verkehrssystems.

5. E - Fuels

- Wie werden E-Fuels hergestellt?
- Was sind die Vor- und Nachteile?
- Können E-Fuels fossile Kraftstoffe 1:1 ersetzen
- Gibt es bereits E-Fuels an der Tankstelle?

Prinzip der E-Fuel Herstellung

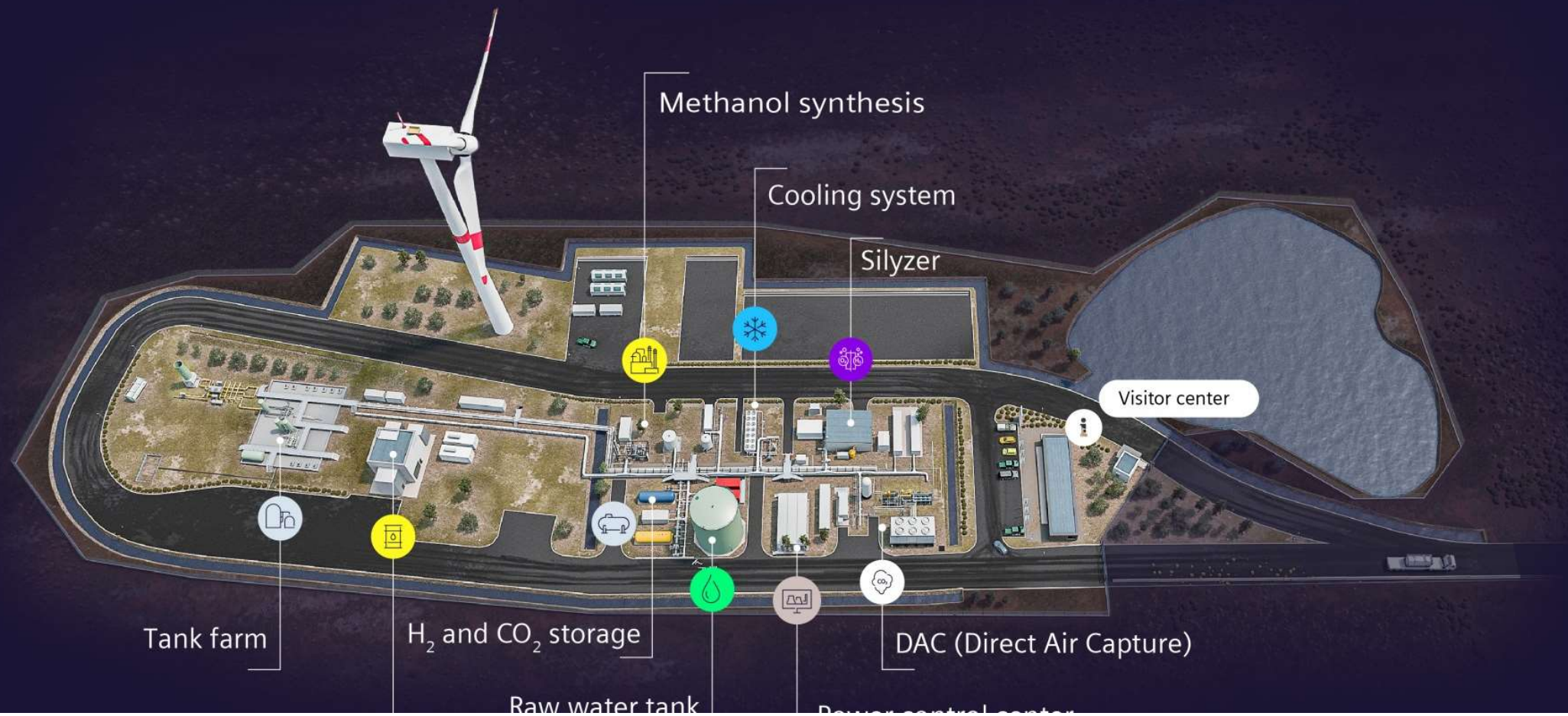


Pilot phase until **2022**

~130,000 liters e-fuel
per year

1st phase until **2024**

~55 million liters e-fuel
per year



6. Antriebsarten für PKW, Vor- und Nachteile

- Verbrennungsmotor
 - Otto
 - Diesel
 - Erdgas (CNG)
 - Flüssiggas (LPG)
 - Wasserstoff
- Elektroantrieb Batterie (BEV)
- Elektroantrieb Brennstoffzelle Wasserstoff und Batterie (FCEV)
- Hybride (PHEV oder HEV)



Vergleich Energiespeicherung in Batterie, E-Fuel, Wasserstoff

* Nicht CO2 frei	Batterie (Li-Ion) *	E-Diesel Cetan 65 *	Wasserstoff
Gewicht/90KWh	700 kg		
Volumen/90 KWh	300 l		
Kosten/90 KWh	40 € - 80 €		
Reichweite mit 90 KWh (120 km/h)	350 km		
Kosten pro 100 km	11,5 € -23 €		

Vergleich Energiespeicherung in Batterie, E-Fuel, Wasserstoff

* Nicht CO2 frei	Batterie (Li-Ion) *	E-Diesel Cetan 65 *	Wasserstoff
Gewicht/90KWh	700 kg	10.0 kg 8,0 kg + 2 kg Tank	
Volumen/90 KWh	300 l	10 l	
Kosten/90 KWh	40 € - 80 €	22 € - 30 €	
Reichweite mit 90 KWh (120 km/h)	350 km	250 km	
Kosten pro 100 km	11,5 € -23 €	8,8 € - 12 €	

Vergleich Energiespeicherung in Batterie, E-Fuel, Wasserstoff

* Nicht CO2 frei	Batterie (Li-Ion) *	E-Diesel Cetan 65 *	Wasserstoff
Gewicht/90KWh	700 kg	10,0 kg 8,0 kg + 2 kg Tank	103 kg 2,7 kg + 100 kg Tank
Volumen /90 KWh	300 l	10 l	70 l (bei 720 bar)
Kosten /90 KWh	40 € - 80 €	22 € - 30 €	9,5 € - 25,7 €
Reichweite mit 90 KWh (120 km/h)	350 km	250 km	270 km
Kosten pro 100 km	11,5 € - 23 €	8,8 € - 12 €	3,5 € - 9,5 €

Relativer Rohstoffbedarf eines Kompaktklasse-Pkw in verschiedenen Nutzungen (2018 bis 2030)

		Edel- und Halbmetalle			Platingruppenmetalle			Seltene Erden				Sonstige Metalle				
		Gold	Silber	Kupfer	Platin	Palladium	Ruthenium	Neodym	Praseodym	Dysprosium	Terbium	Lithium	Kobalt	Gallium	Indium	Germanium
Batterie-elektrischer Pkw	Elektromotor			●				●	●	●	●			●		
	Leistungselektronik	●	●	●		●								●	●	●
	Lithium-Ion-Batterie/Kabel			●								●	●			
	Ladestation/-säule inkl. Kabel		●	●										●	●	●
Brennstoffzellen-Pkw	Elektromotor			●				●	●	●	●					
	Leistungselektronik	●	●	●		●								●	●	●
	Lithium-Ion-Batterie/Kabel			●								●	●			
	Brennstoffzellen-Komponenten (BZ-Systemmodul, -Stack, H2-Tank)			●	●			●	●	●	●			●		
Pkw mit Verbrennungsmotor	Standardverkabelung im Pkw		●	●												
	Weitere Elektro-Anwendungen (Lenkung, Bremsen, Elektronik)			●												
	Verbrennungsmotor und Anwendungen (Katalysator, Motor, etc.)			●	●	●										

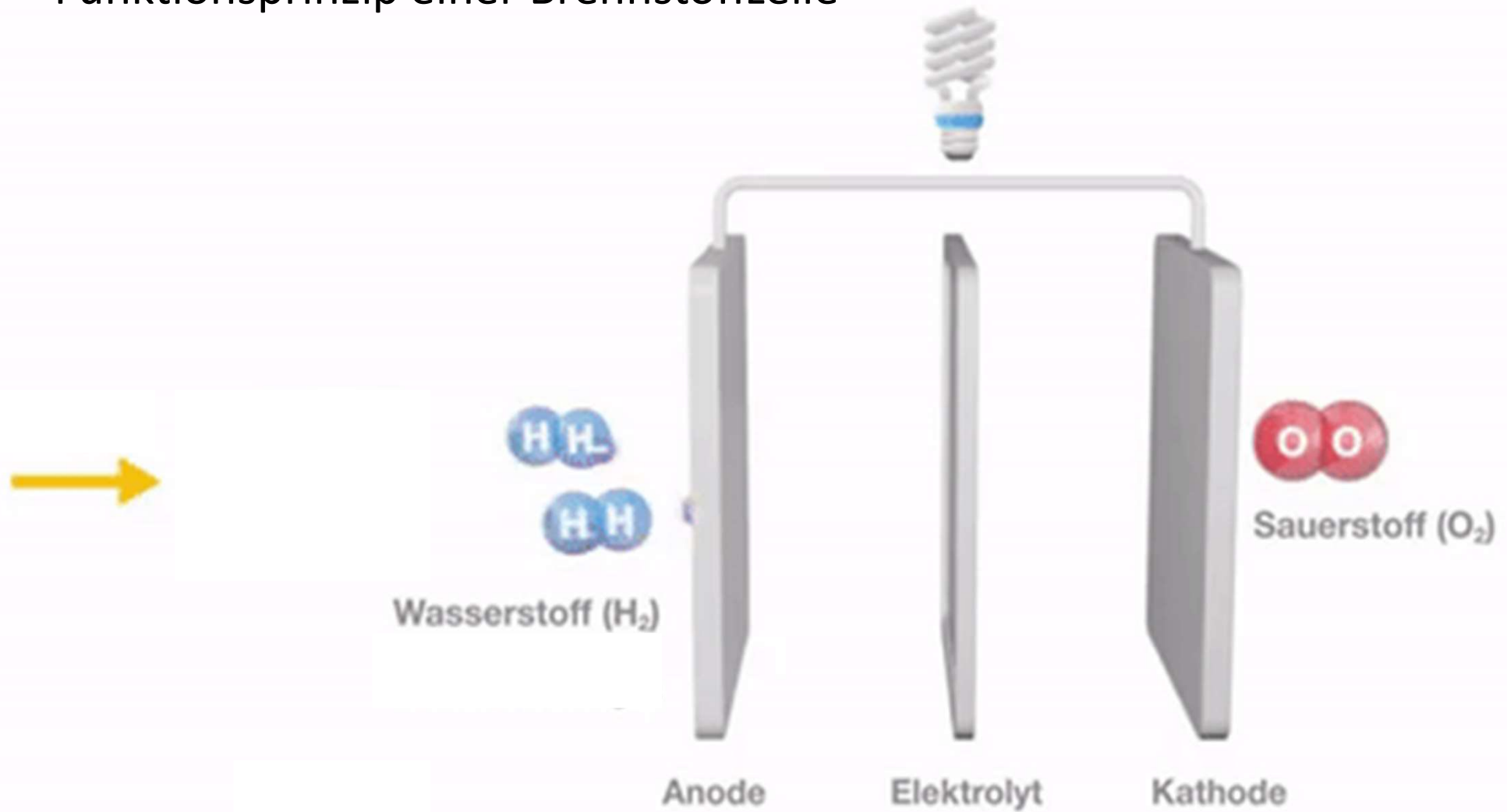
 - Einsatz im kg-Bereich je Pkw
  - Einsatz im g-Bereich je Pkw
  - Einsatz im mg-Bereich je Pkw

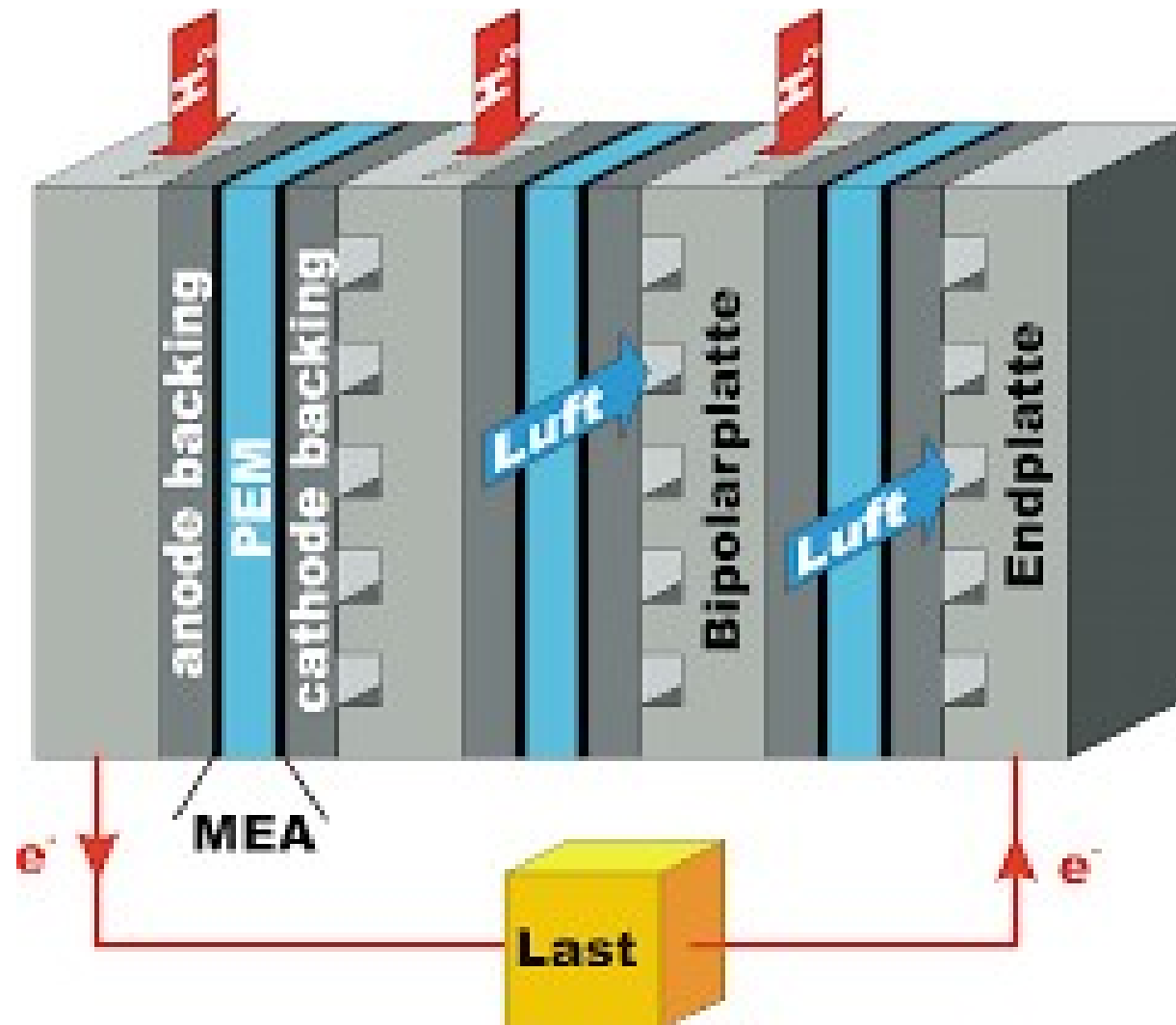
7. Wasserstoff im PKW

- Brennstoffzelle
- Verbrennungsmotor

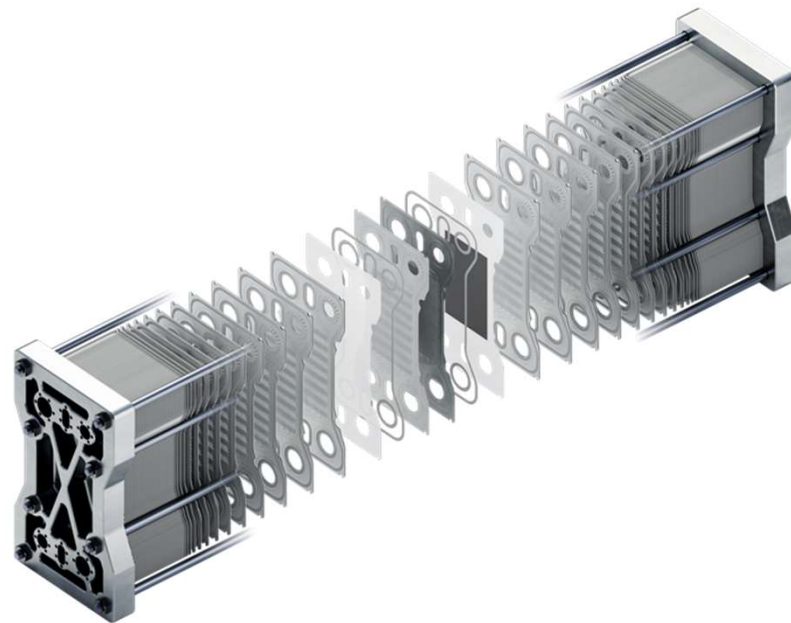


Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle





Aufbau eines Stacks



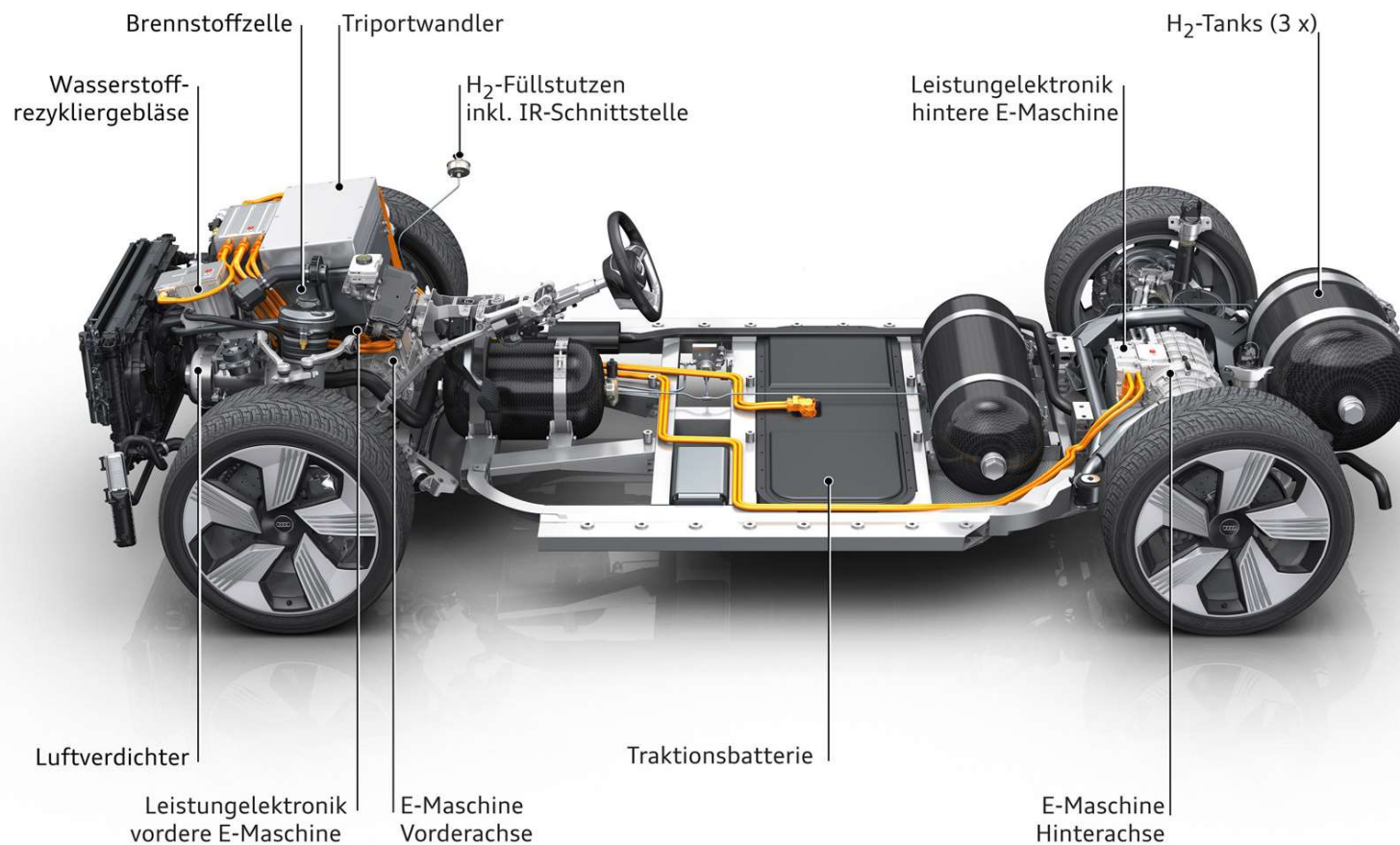


Audi

Audi h-tron quattro concept

Antriebsstrang

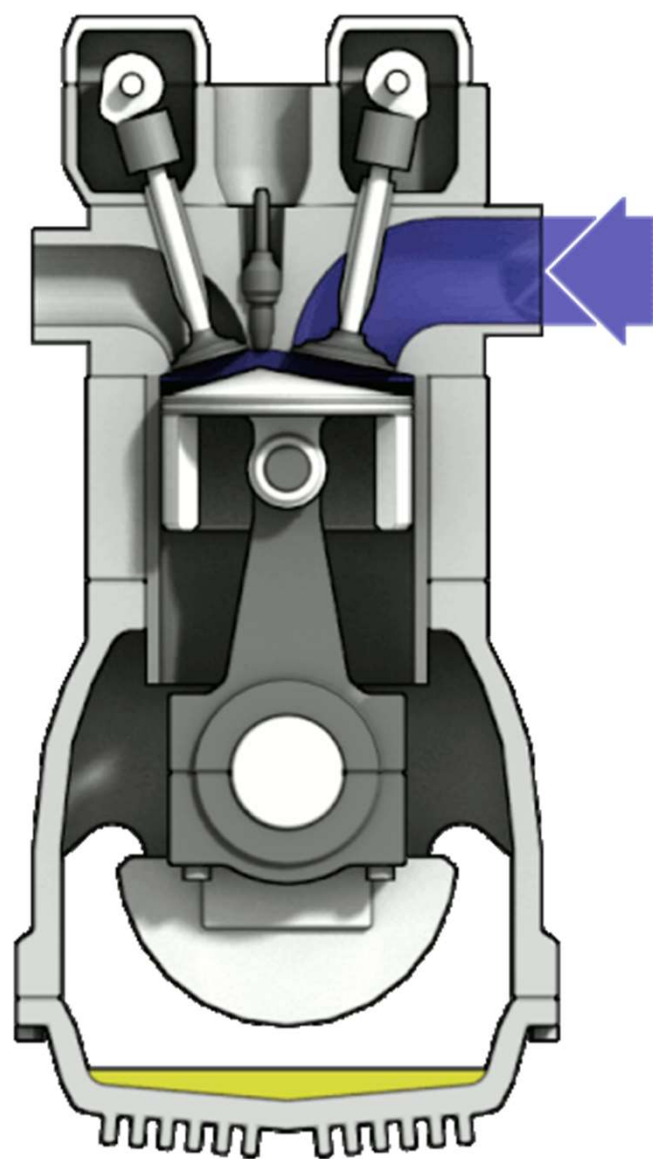
01/16

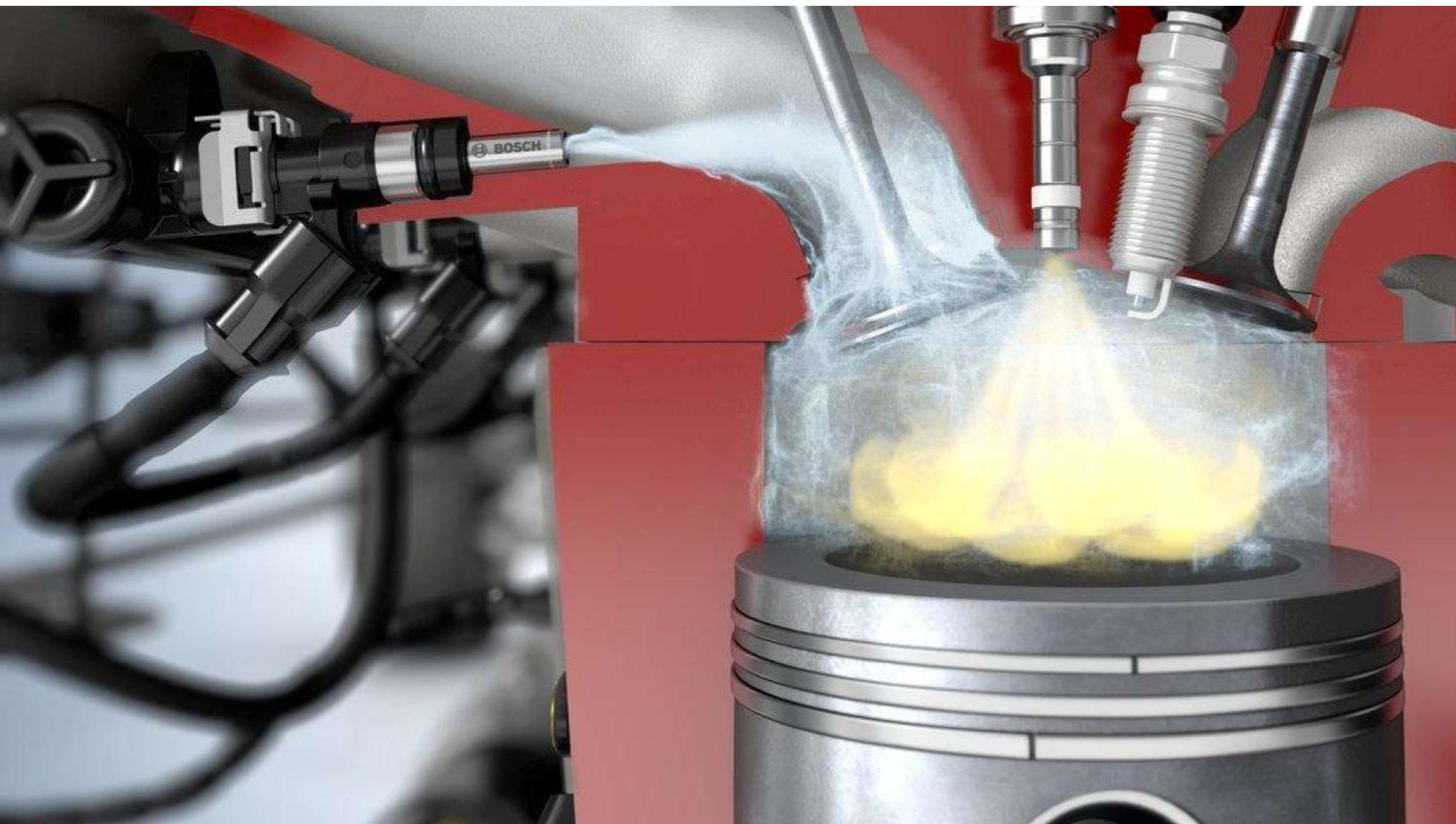


Wasserstoff im Verbrennungsmotor Utopie oder Realität?

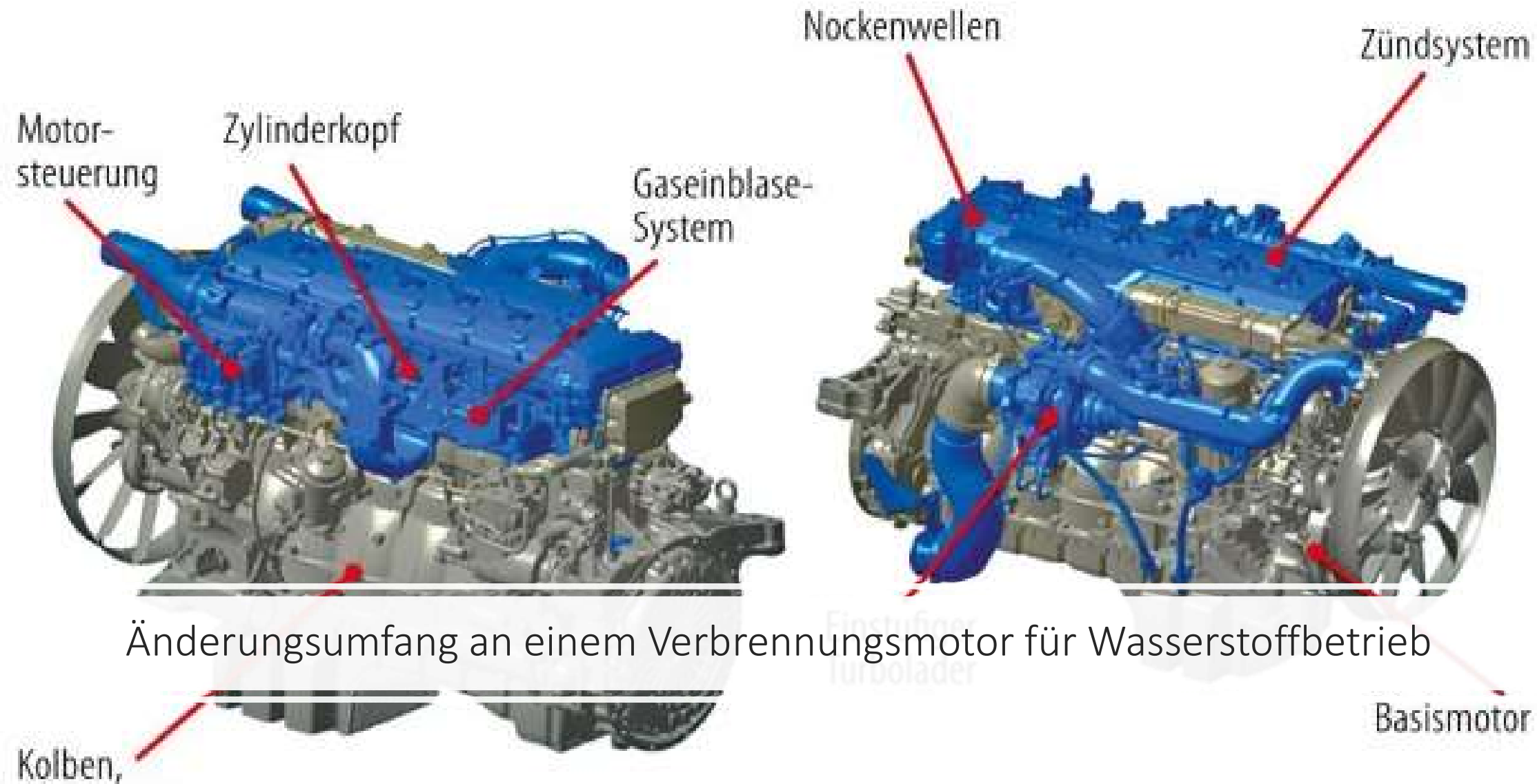


1

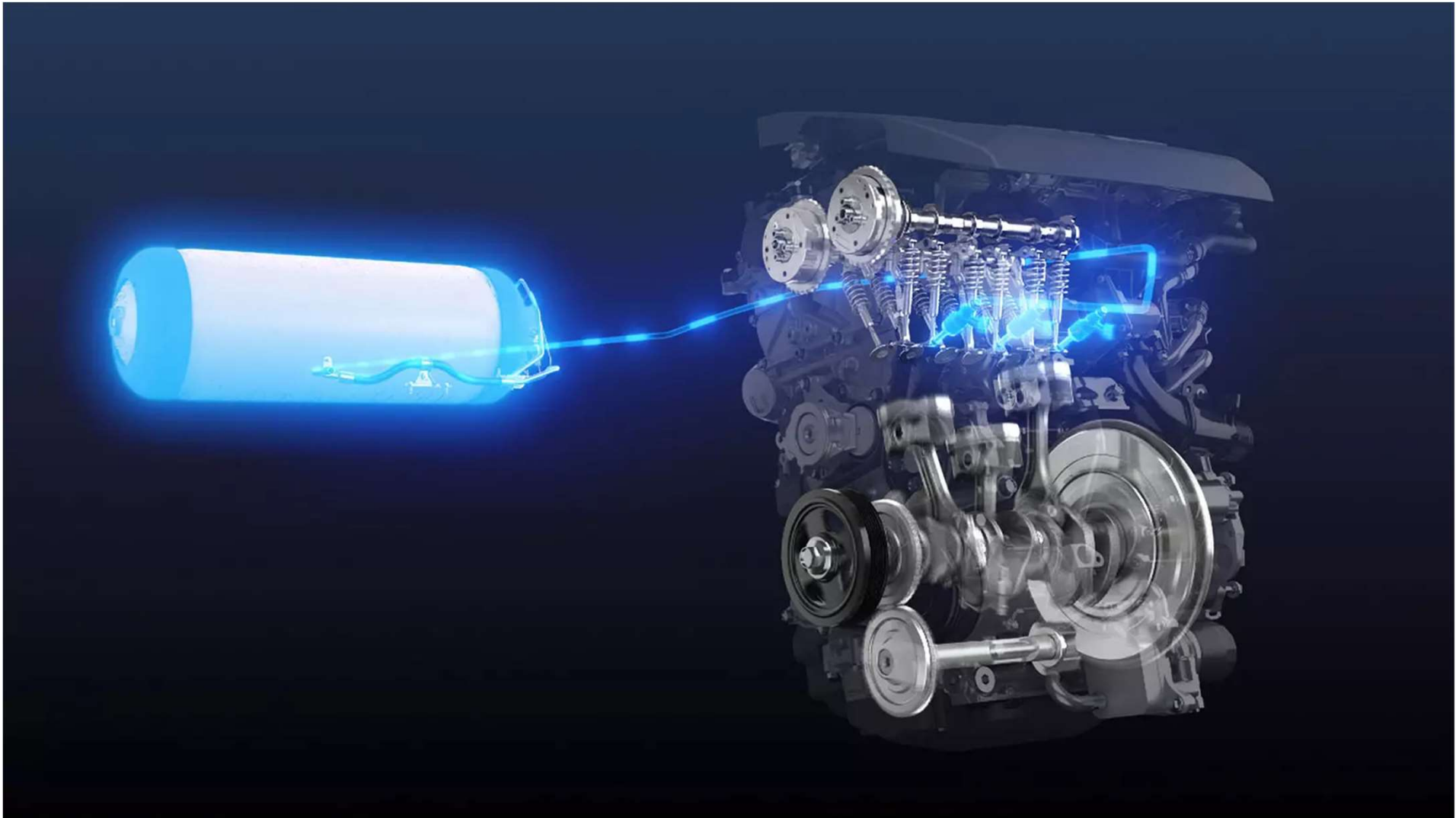




MAN-Wasserstoffmotor



Der Wasserstoffverbrennungsmotor von Toyota ist im Prius ab 2025 in Serie



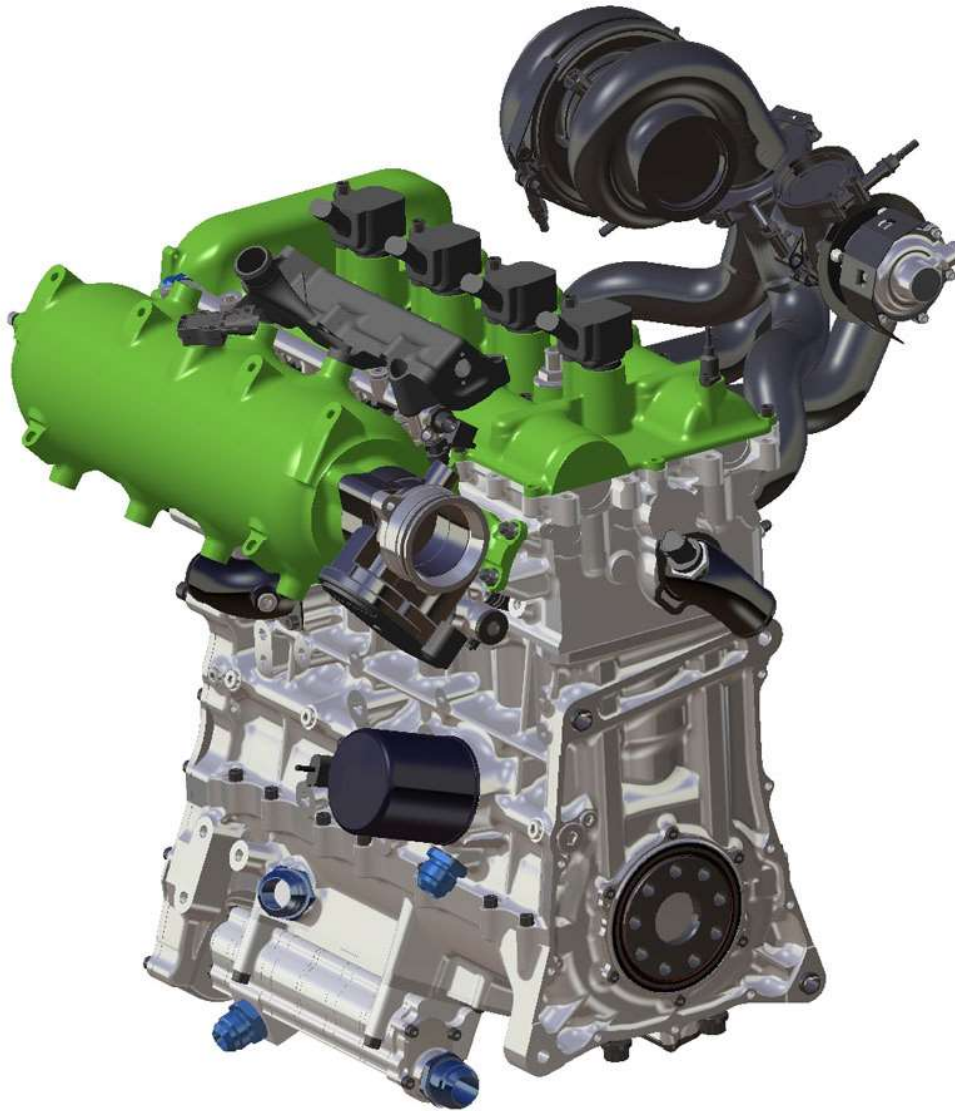
Motor von GAC (China)

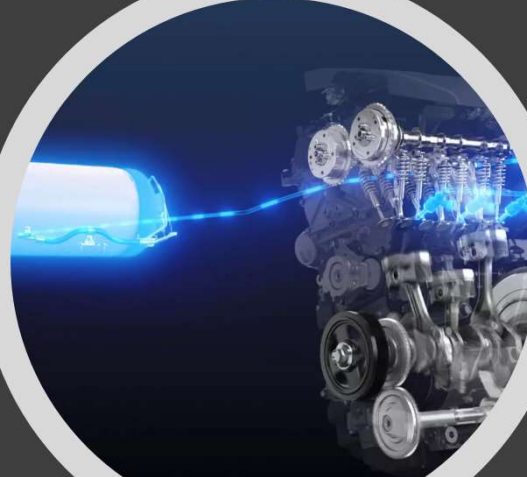
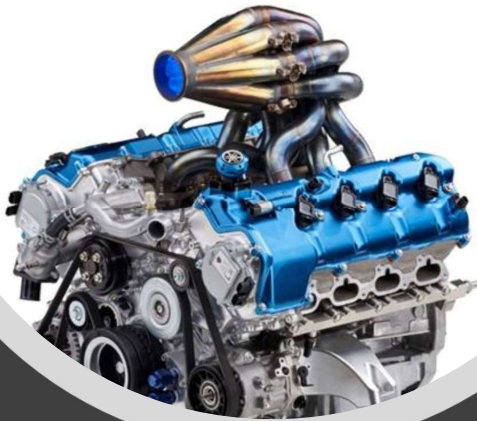




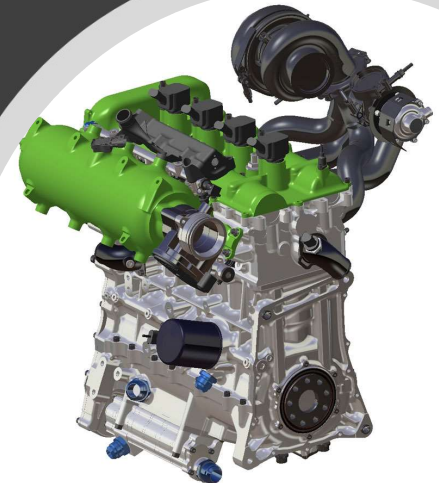
**Der Glaube ans Wasserstoff-
Auto: Yamaha baut
Verbrennungsmotor mit 450 PS**

Der Rallyemotor für die Paris-Dakar 2023 von Pipo Moteurs





Beispiele für bereits existierende
Wasserstoffmotoren

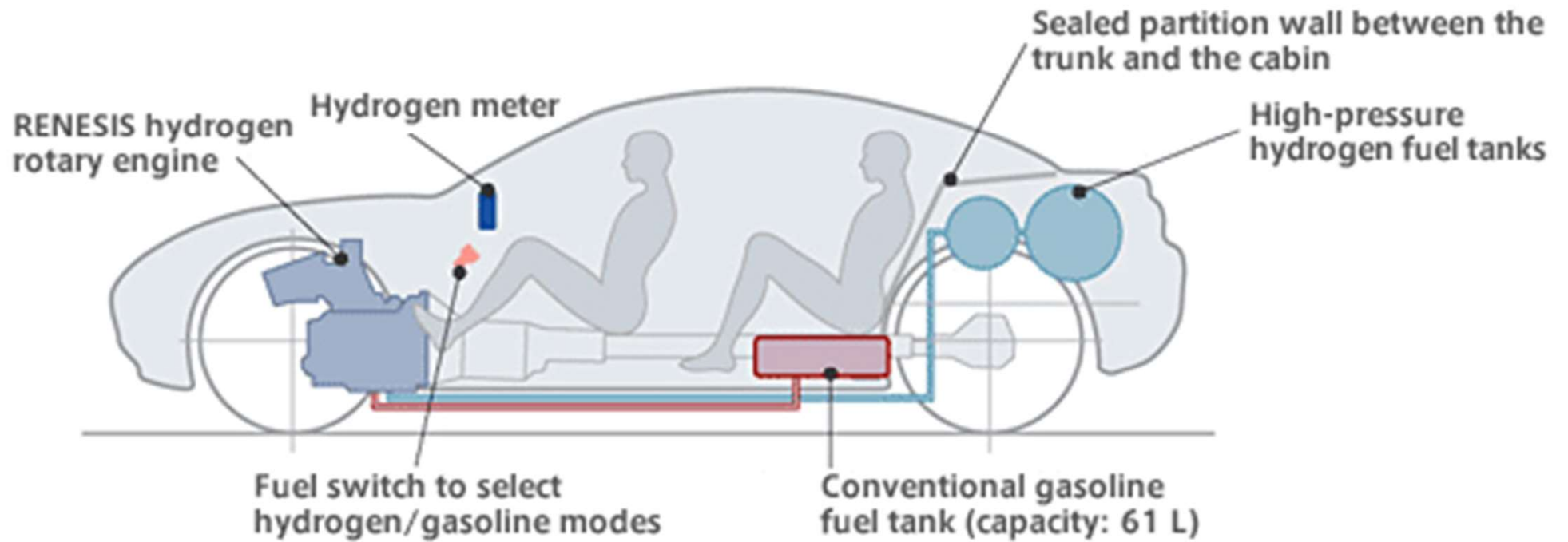




Wankelmotor mit Wasserstoff von Mazda

- Die typischen Nachteile der Verbrennung in einem Wankelmotor werden durch die Eigenschaften des Wasserstoffs kompensiert

Dual-Fuel Fzg. von Mazda



Zusammenfassung



- Es gibt genügend grüne Energie auf unserem Planeten
- Grüne Energie muss auch in Zukunft nach D importiert werden
- Wasserstoff ist das „Öl“ der Zukunft
- Individuelle Mobilität ist auch in Zukunft möglich, aber teurer
- Verbrennungsmotoren mit Wasserstoff sind bereits Realität – in J,C
- In EU und D wird diese Entwicklung durch die Politik behindert.

Ideologie statt Technologie

Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit

Gibt es Fragen?

Ich freue mich darauf !

Wer die Vortragsunterlagen als pdf. haben möchte:

- Schreibt mir eine Mail

ulrich.by@gmail.com

- Oder schreibt seine E-mail Adresse
in die ausgelegte Liste und ich
schicke sie zu.



