

Wasserstoff und seine Infrastruktur

- Basis der Versorgungssicherheit erneuerbarer Energien***
- Wasserstoff-Speicher***
- Wasserstoff-/Brennstoffzellen-Mobilität***

DFK-Verband der Fach und Führungskräfte, 21. 4. 2021

Dr. Johannes Töpler, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband

*„Wir sollten das Öl verlassen,
bevor es uns verlässt“*

*Fatih Birol, Chef-Ökonom der
Internationalen Energie-Agentur, IEA,
8. April 2008*



Verfügbarkeit Erneuerbarer Energien – weltweit

Angebot erneuerbarer Energien – weltweit

Wasserkraft
 $4,6 \times 10^{13}$ kWh

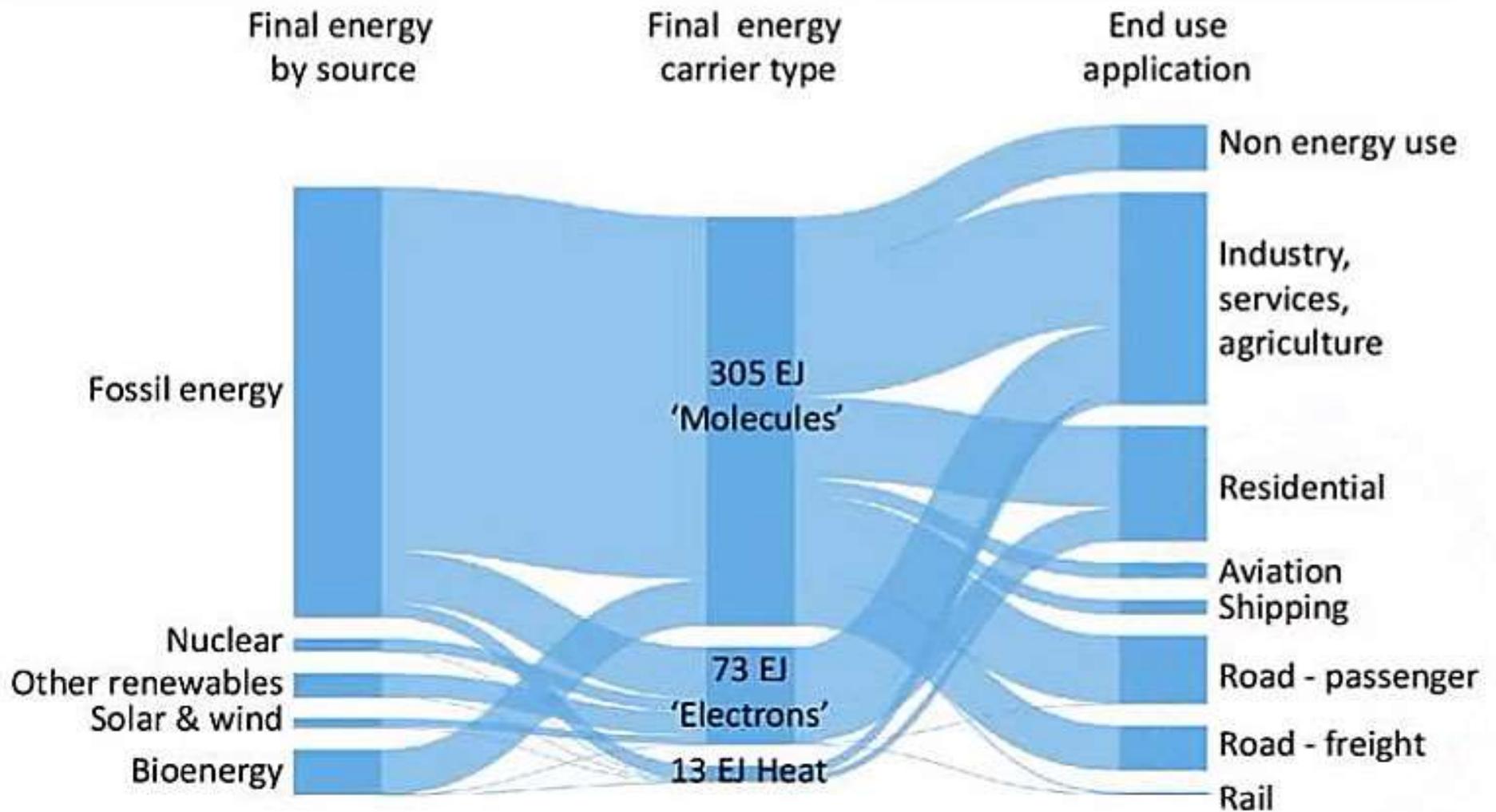
Biomasse
 $152,4 \times 10^{13}$ kWh

**Wellen- und
Meeresenergie**
 $762,1 \times 10^{13}$ kWh

Quelle:
Eurec. Agency/Eurosolar, WIP:
Power for the World – A Common Concept



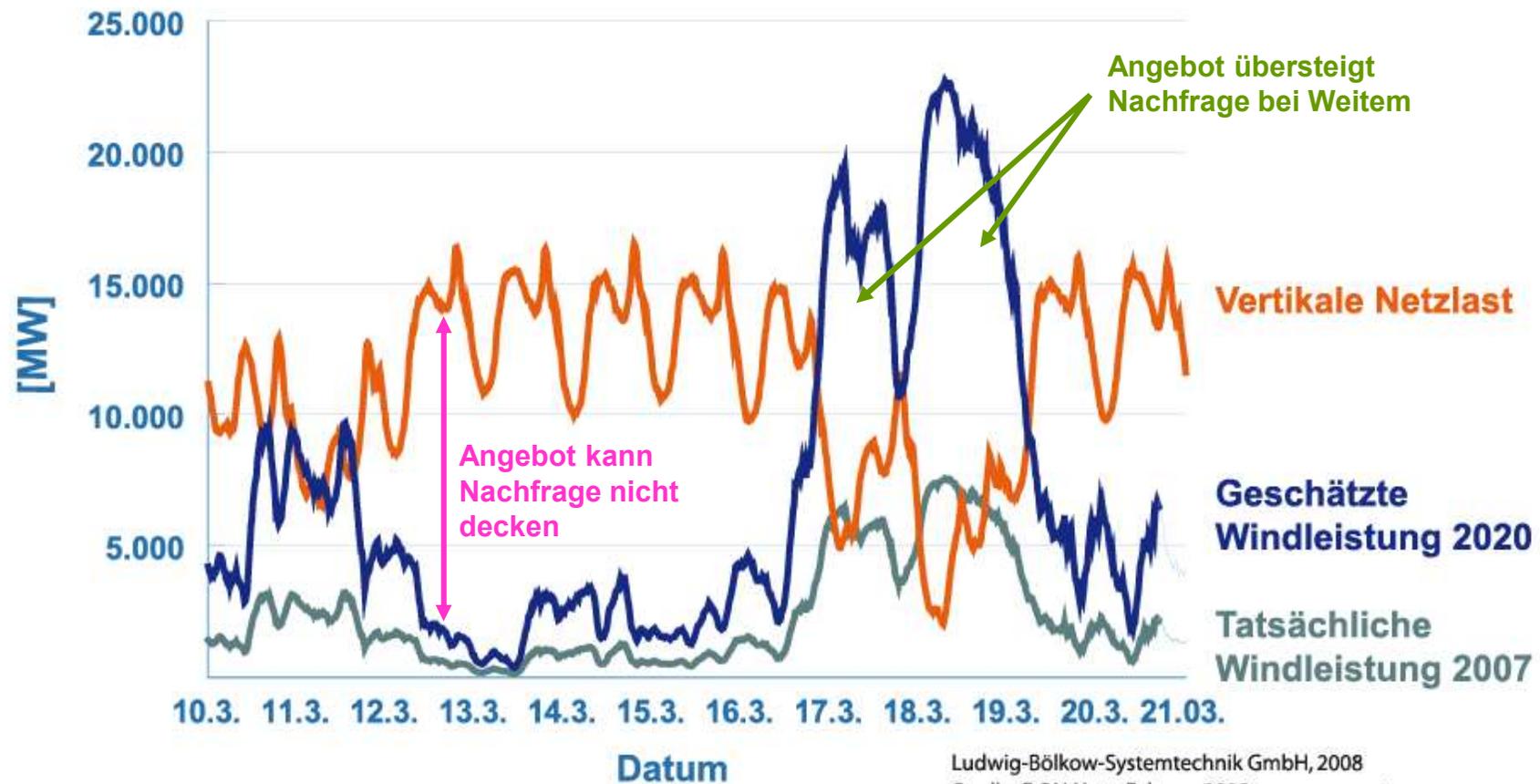
Today's global energy mix



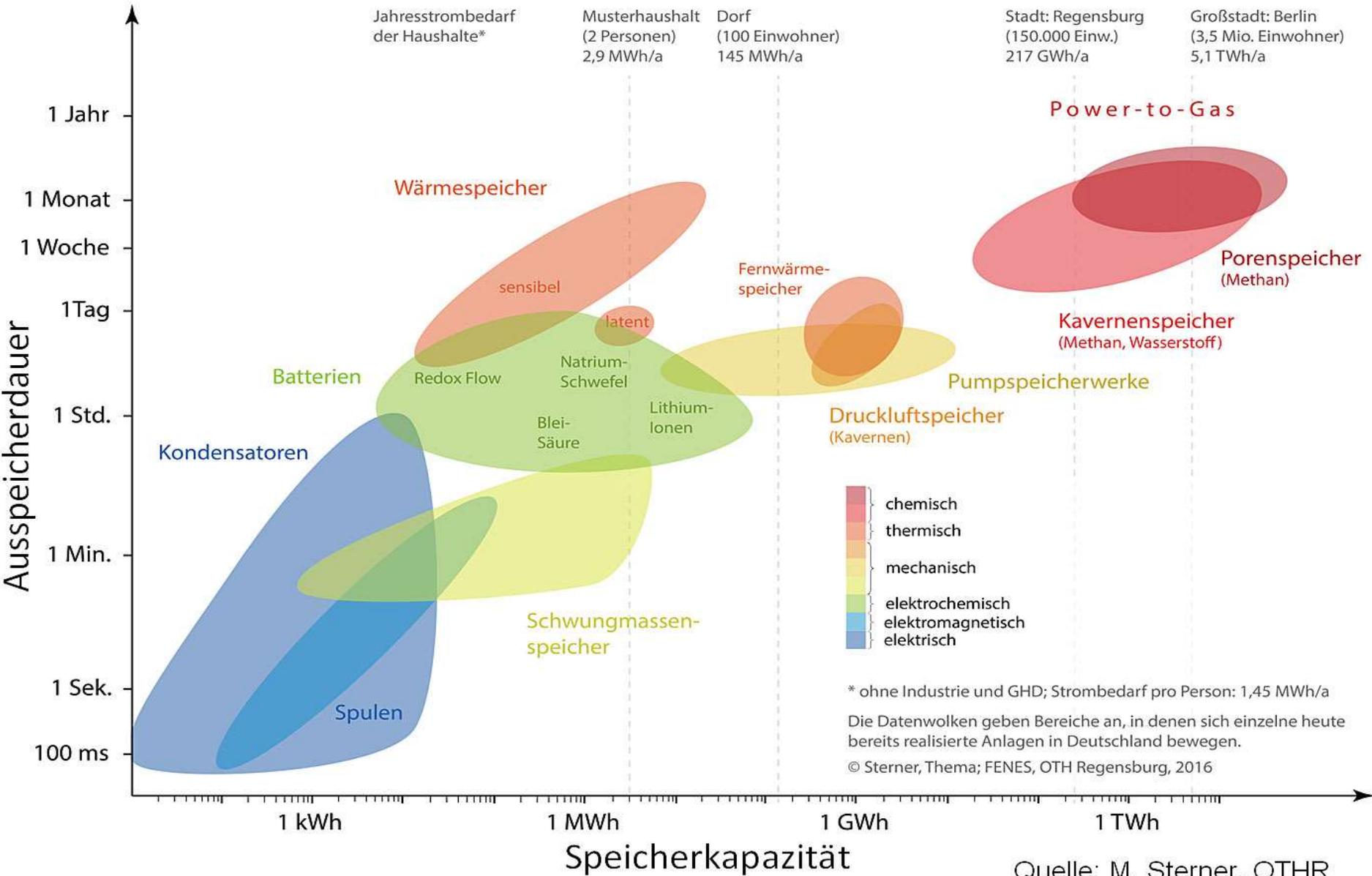
Source: Based on 2015 data from Shell Sky (2018), updated with 2018 wind and solar data from IRENA (2020)

Fluktuierende regenerative Stromerzeugung

Vertikale Netzlast und Windenergie-Einspeisung in das E.ON Übertragungsnetz



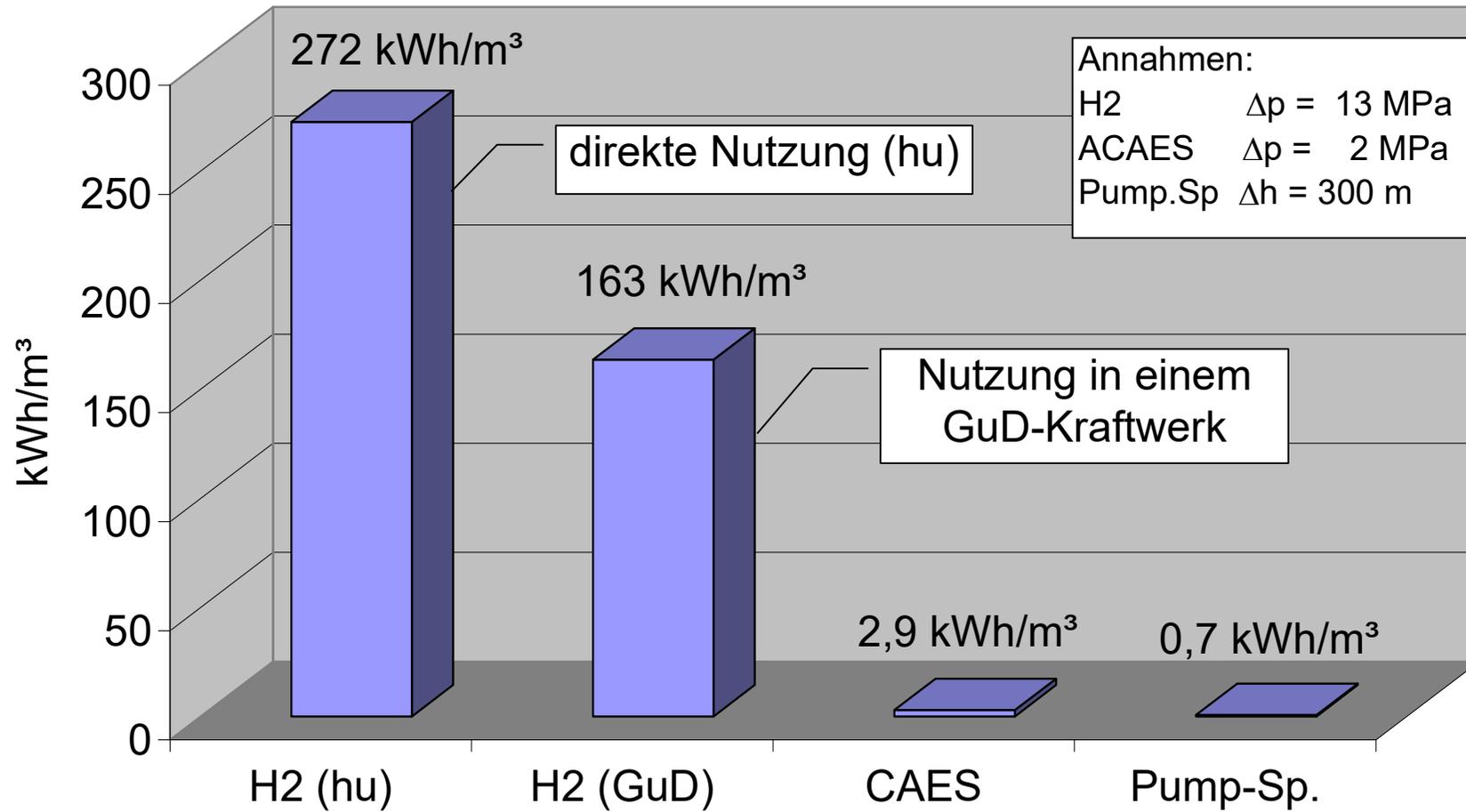
Energiespeicher



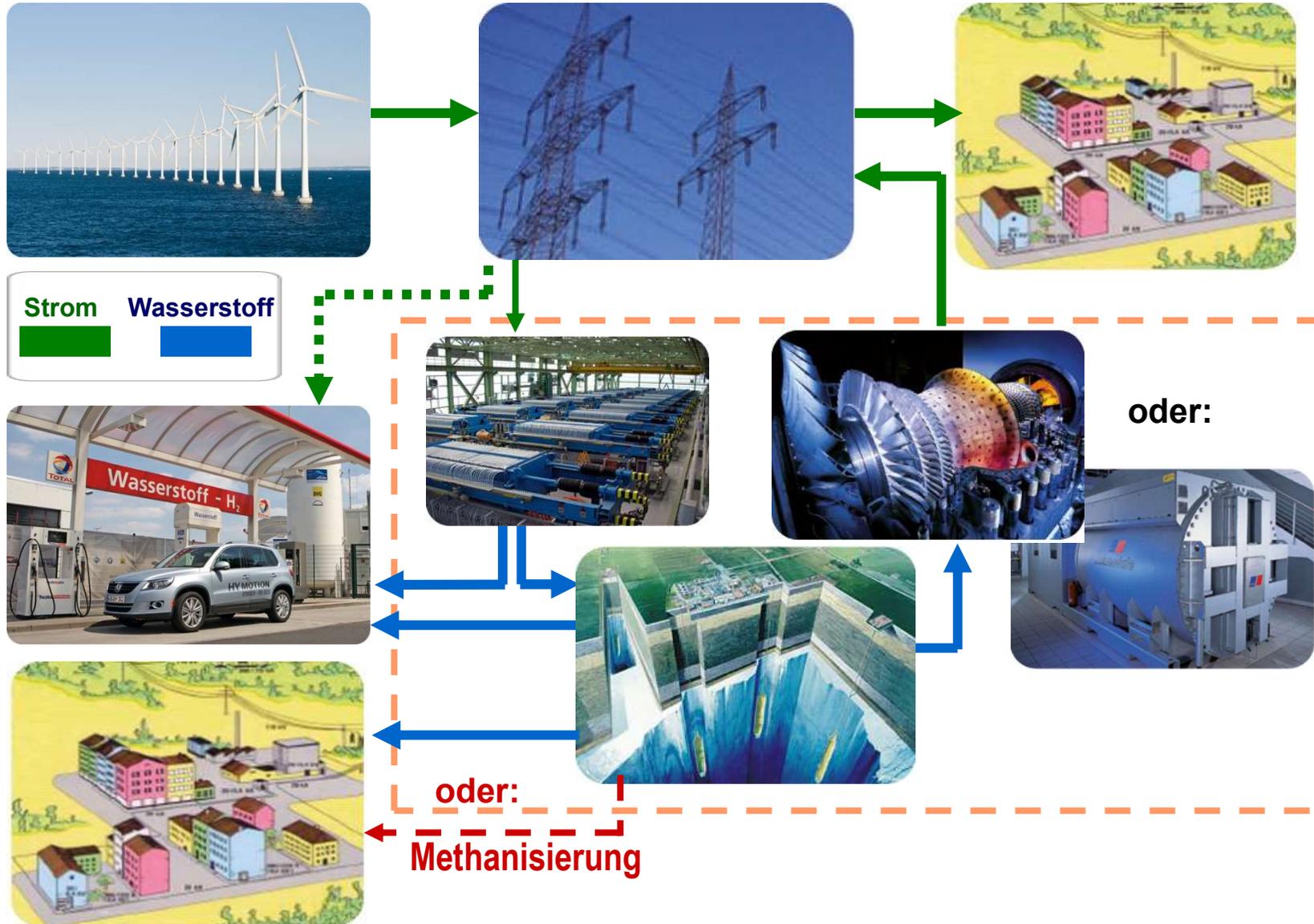
Jahresstrombedarf der Haushalte* Musterhaushalt (2 Personen) 2,9 MWh/a Dorf (100 Einwohner) 145 MWh/a Stadt: Regensburg (150.000 Einw.) 217 GWh/a Großstadt: Berlin (3,5 Mio. Einwohner) 5,1 TWh/a

- chemisch
- thermisch
- mechanisch
- elektrochemisch
- elektromagnetisch
- elektrisch

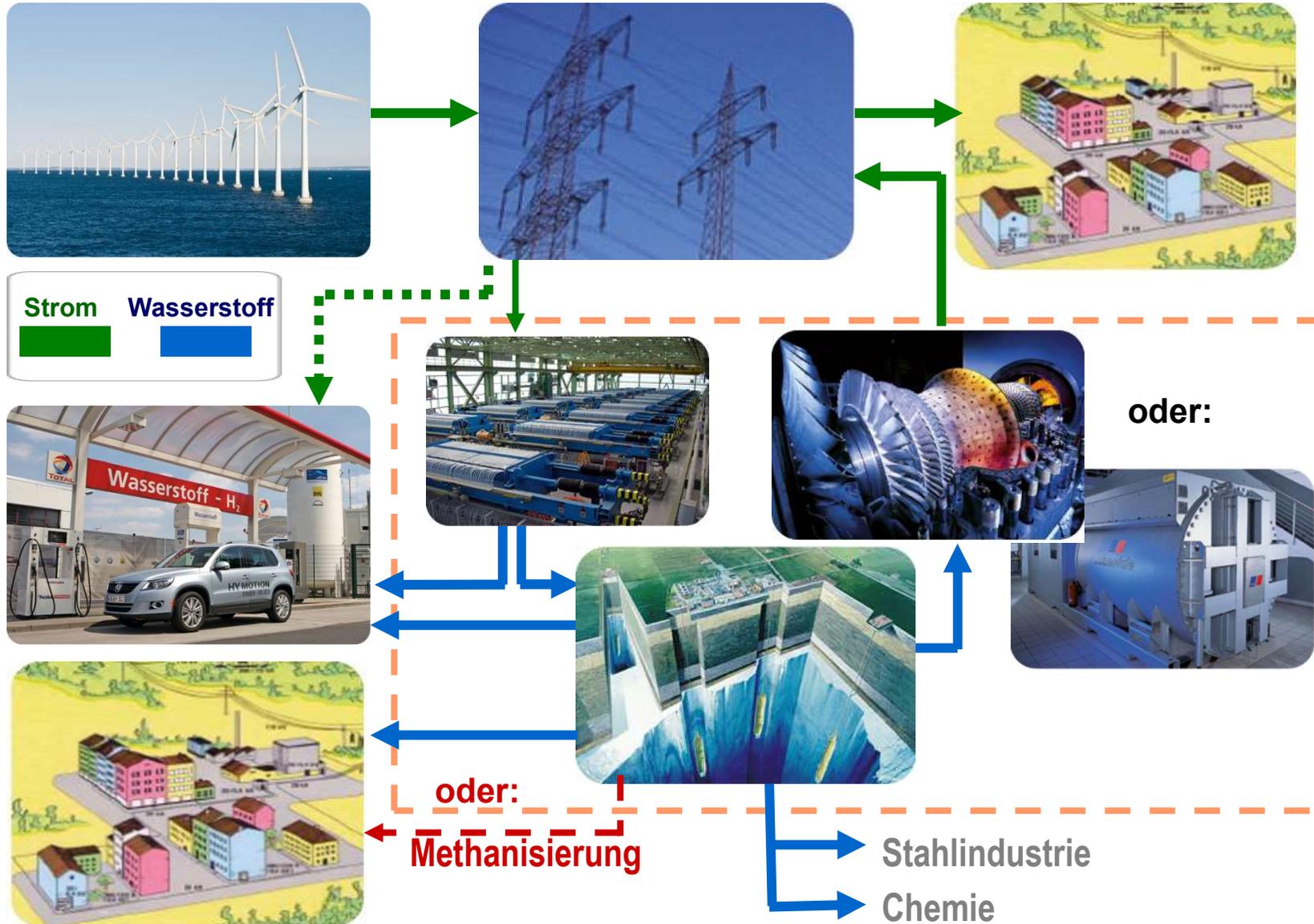
* ohne Industrie und GHD; Strombedarf pro Person: 1,45 MWh/a
 Die Datenwolken geben Bereiche an, in denen sich einzelne heute bereits realisierte Anlagen in Deutschland bewegen.
 © Sterner, Thema; FENES, OTH Regensburg, 2016



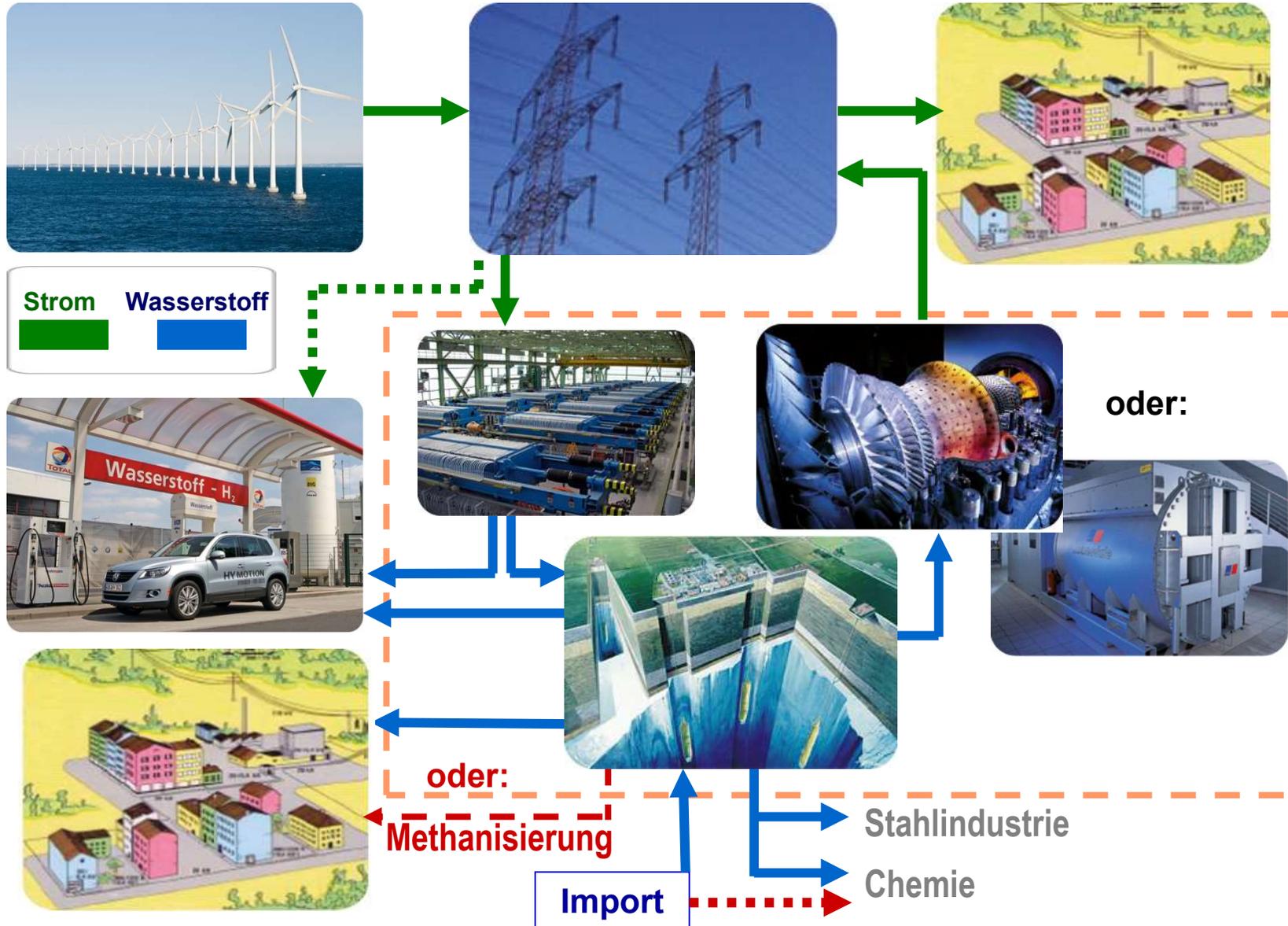
Verteilung Erneuerbarer Energien



Verteilung Erneuerbarer Energien



Verteilung Erneuerbarer Energien



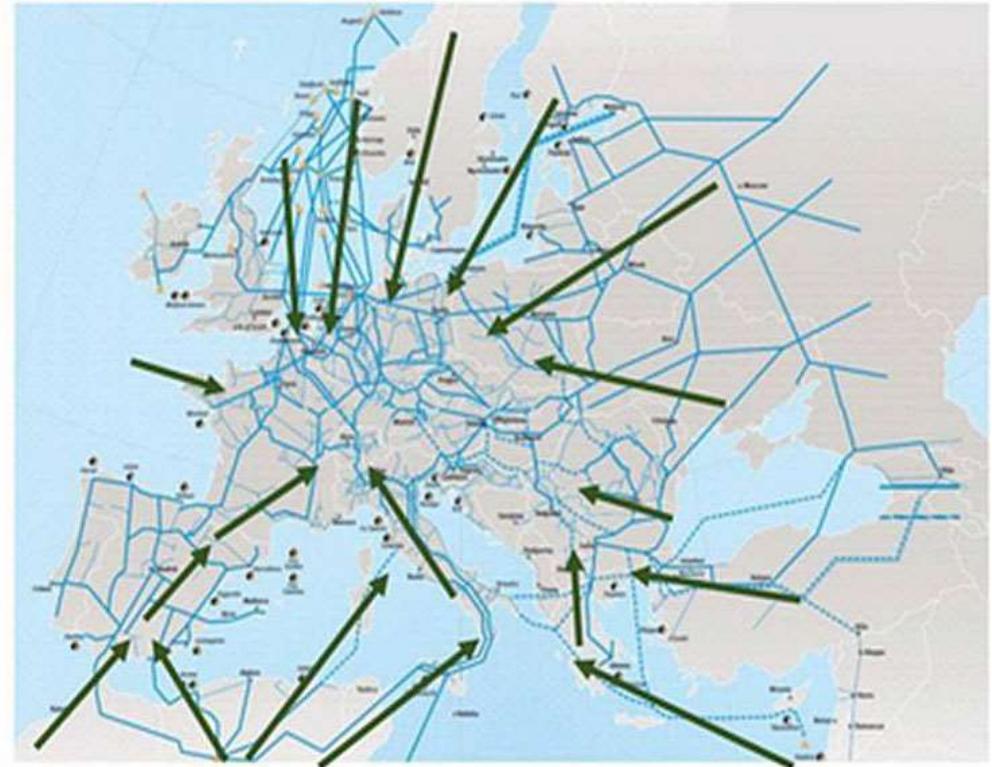
Pipeline transport of green Hydrogen is the cheapest option to carry renewable energy to Europe.

The optimal combination between favourable green hydrogen production costs and transport costs are crucial for a cost-efficient supply-secure energy supply of Europe.

The switch to green hydrogen allows for maximum diversification of supply options.

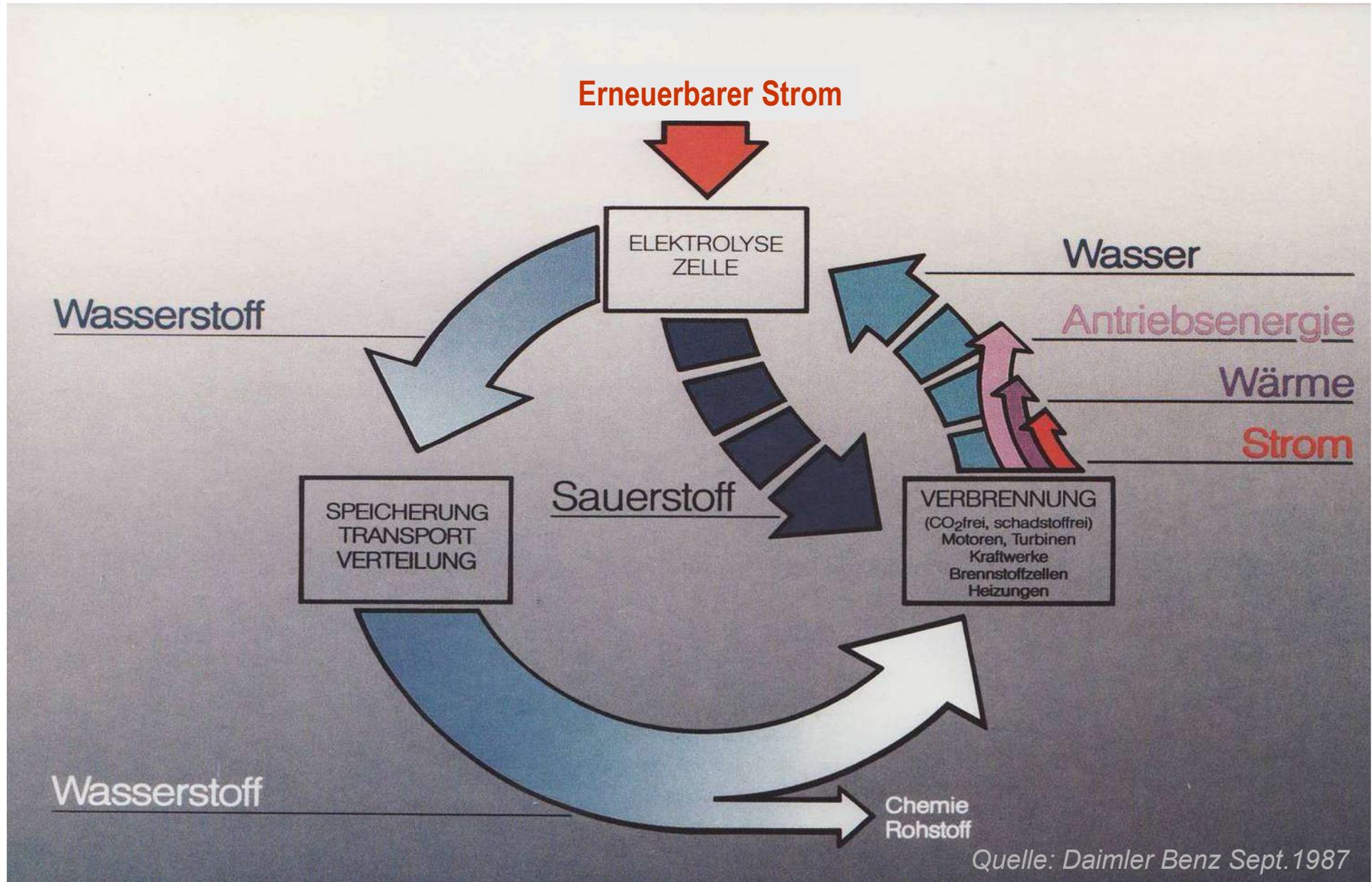
Europe's energy suppliers of tomorrow:

- West Africa
- North Africa
- Southeast Europe
- Scandinavia
- North Sea
-



Source: Arthur D. Little

Wasserstoff-Kreislauf



Vergleich der Transportnetze

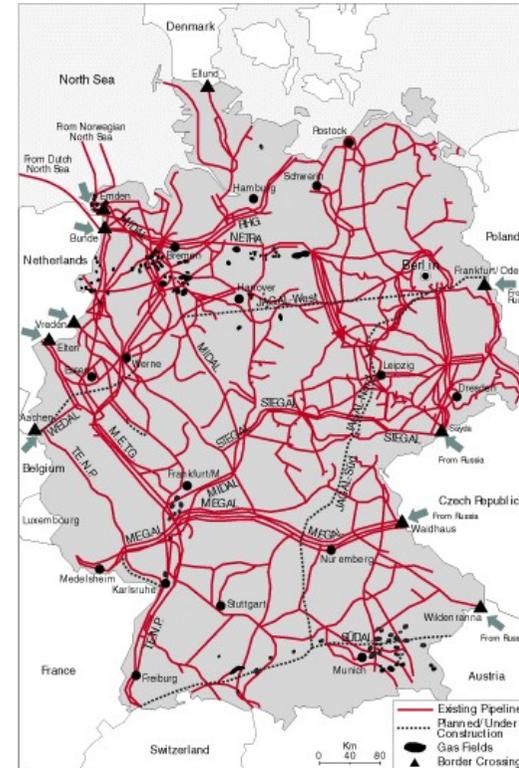
Elektrisches Netz



Verteilungskapazität :
ca. 540 TWh (2008)
Speicherkapazität:
0,04 TWh_{el}

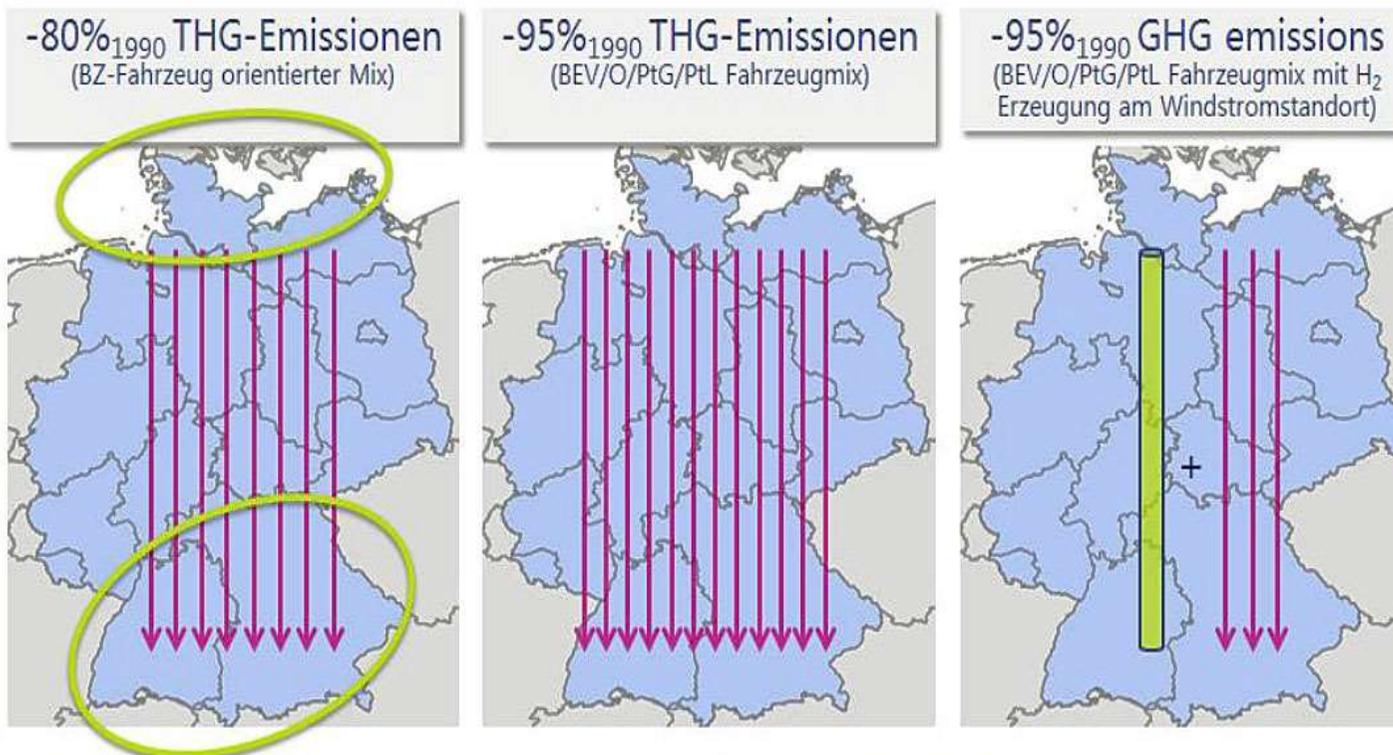
Quelle: DLR

Gasnetz



Verteilungskapazität :
ca. 1000 TWh (2010)
Speicherkapazität:
ca. 220 TWh_{th} + Netz

H₂-Pipeline als HGÜ-Ersatz von Nord nach Süd



Quelle: T. Raksha, P. Schmidt (LBST),
Synergies and challenges when
transportation demand meets the
electricity sector, 1st International ATZ
Conference 'Grid Integration of Electric
Mobility', Berlin, 31.05.2016

- Infrastrukturen für H₂- bzw. e-Fuels haben deutlich höhere Kapazitäten.
- Erdgas-/Flüssigmedien-Pipelines liegen bereits

↓ HVDC Kabel à 2 GW

▮ H₂-Pipeline à 40 GW

Szenarien abgeleitet aus MKS-Studie LBST/IFEU/IWES, Synergien, 2016

Quelle: R. Wurster, LBST

Vergleich: Pumpspeicherwerk
↔ Wasserstoff-Kaverne

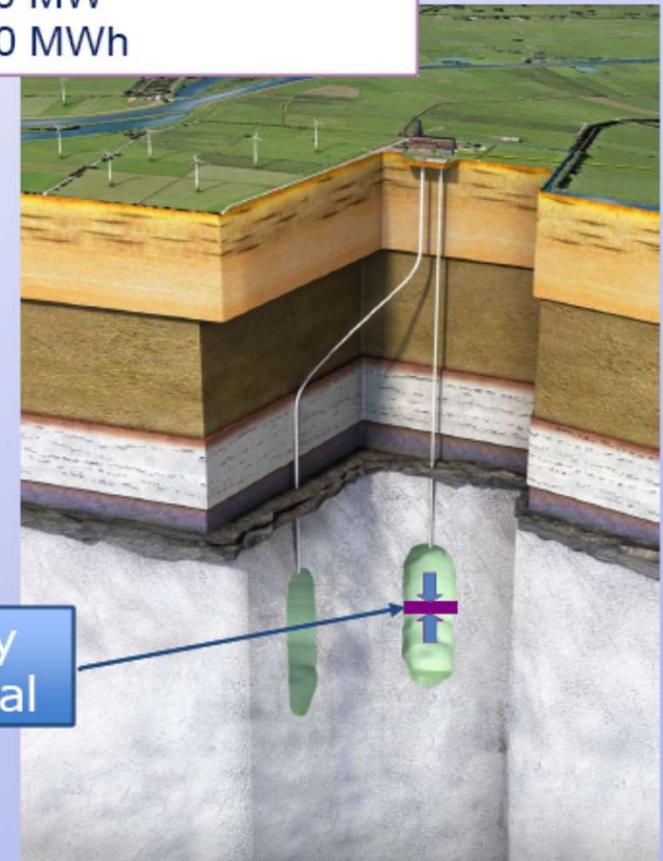
Comparison Pumped hydro vs. hydrogen storage

Pumped hydro plant Goldisthal

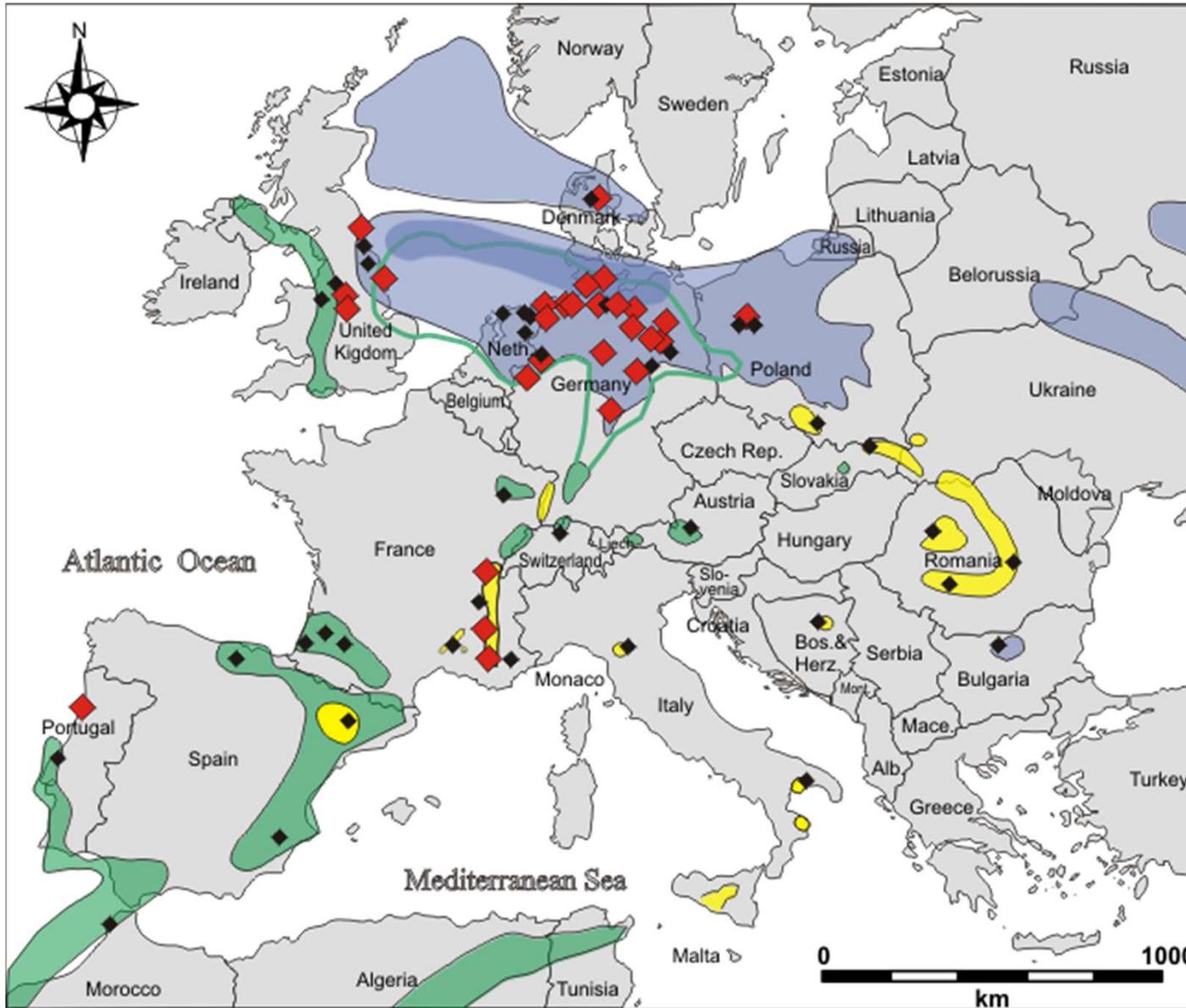
V = 12 Mio. m³
P = 1 060 MW
W = 8 480 MWh

2 caverns H₂ plant

V = 1 Mio. m³ (tot.)
P = 1 400 MW
W = 280 000 MWh



Potenzielle Standorte für H₂-Kavernen



Quelle: KBB

Salt cavern fields

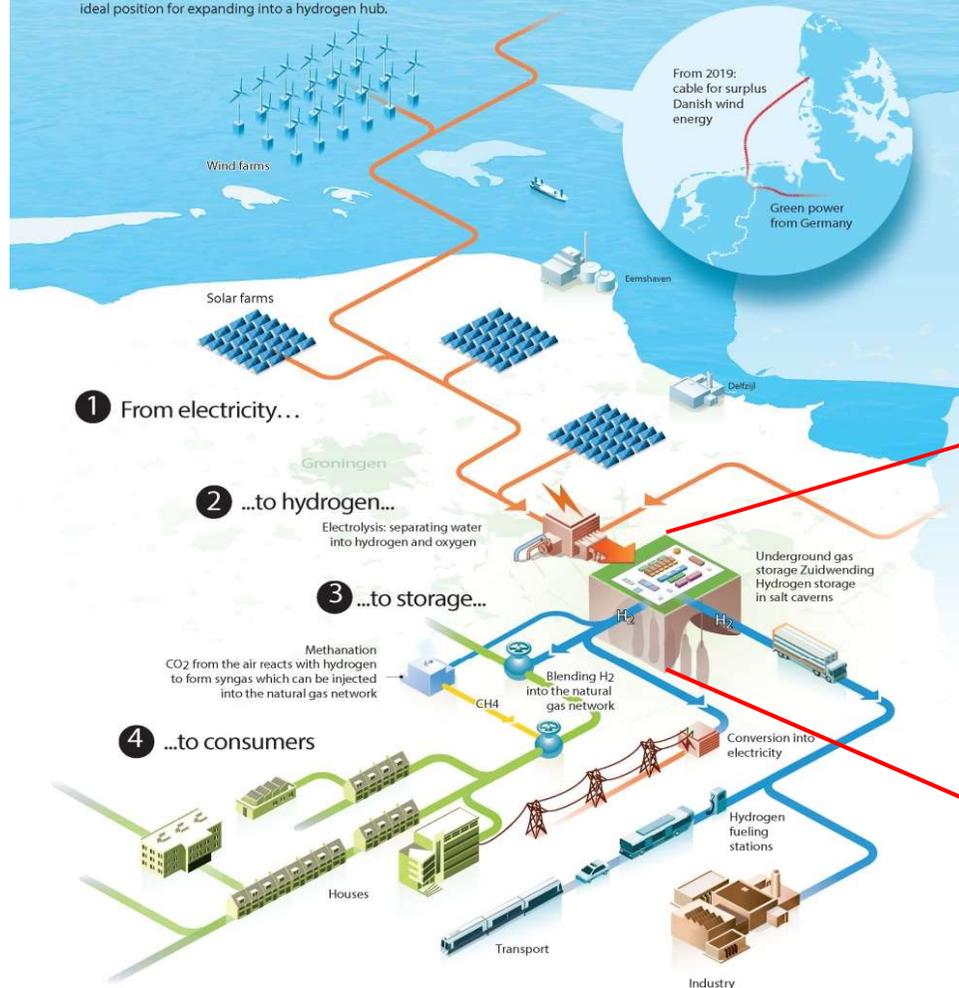
-  Gas Storage
-  Storage of Crude Oil & LPG, Brine Production
-  Tertiary salt deposit
-  Mesozoic salt deposit
-  Range of Mesozoic salt above Permian
-  Paleozoic salt deposit, Permian
-  Paleozoic salt deposit, Rotliegend below Permian

H₂-Kavernenprojekt in den Niederlanden

Quelle: DEEP.KBB

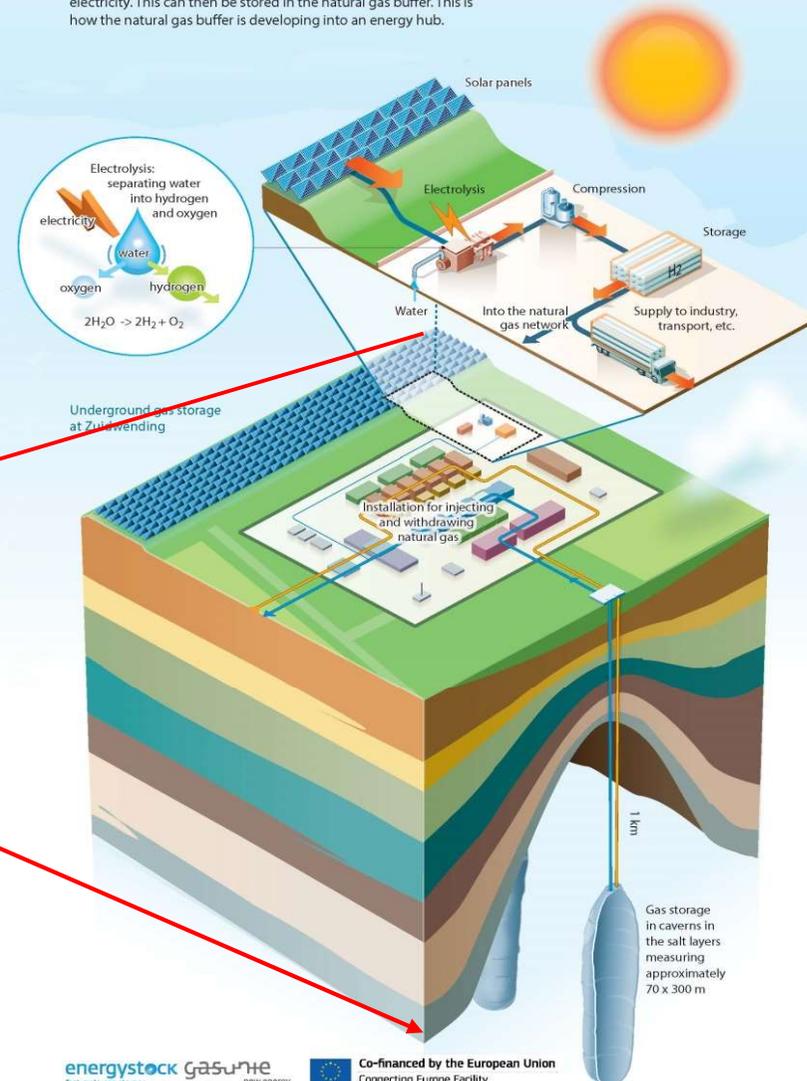
A hydrogen hub in the North Netherlands

Green power production is expected to take off over the coming years, which will involve huge fluctuations between supply and demand. We can respond to these fluctuations by converting surplus electricity into hydrogen and storing it in the Underground gas storage Zuidwending. The North Netherlands is in an ideal position for expanding into a hydrogen hub.

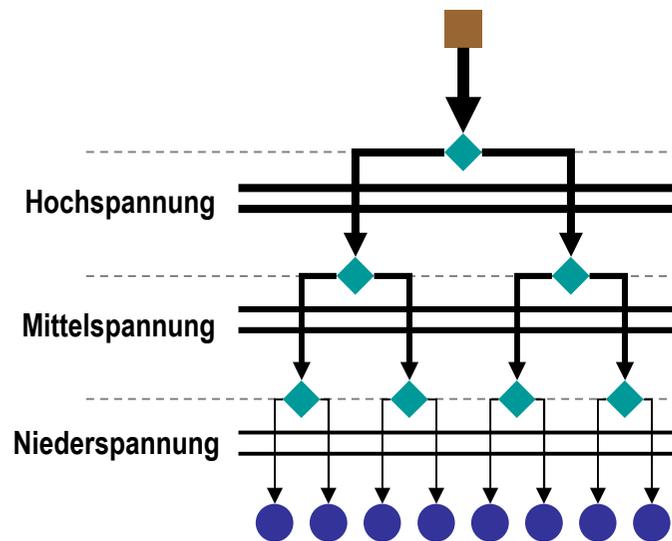


HyStock pilot project

A pilot project undertaken at the Underground gas storage Zuidwending will convert water into hydrogen using solar energy. In the future, large-scale conversion of water into hydrogen will be possible, using surpluses of sustainably generated electricity. This can then be stored in the natural gas buffer. This is how the natural gas buffer is developing into an energy hub.

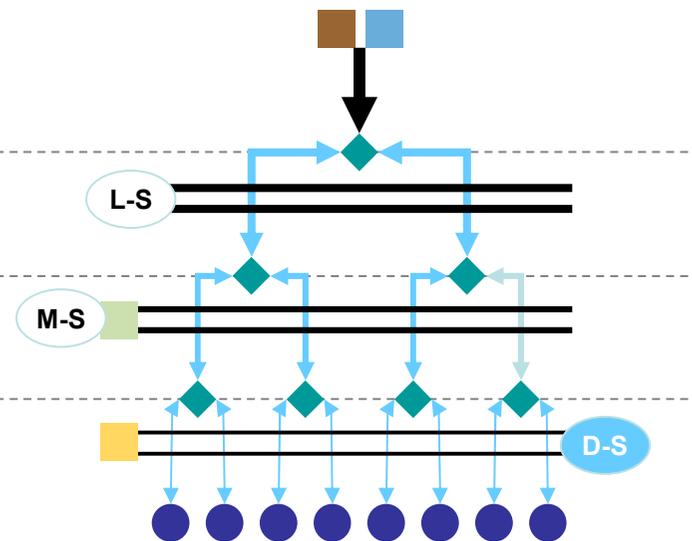


Erzeugung/Verteilung heute und morgen



heutiges System

- ▶ Produktion: i.W. Großkraftwerke
- ▶ Stromfluss: von Hochspannungsebene zum Verbraucher
- ▶ Informationen & Kommunikation: i.d.R. unidirektional von oben nach unten, eine Richtung
- ▶ Netz: Transport und Versorgung



Stromsystem der Zukunft

- ▶ Produktion: zunehmende fluktuierende und dezentrale Erzeugung
- ▶ Lastmanagement auf Kundenseite
- ▶ Stromfluss: bidirektional
- ▶ Information & Kommunikation: bidirektional, höhere Komplexität und Grad der Automatisierung -> Smart Grid
- ▶ Netze: Netzstabilität eine zunehmend vielschichtige Herausforderung

- ◆ Transformator
- Verbraucherlast
- herkömmlichen (Kohle, Kernkraft, ...) Erzeugung
- Offshore-Wind
- Onshore-Wind / Biomasse
- Dezentrale (PV, KWK) Erzeugung
- L/M-S Groß / mittlere zentrale Speicherung (Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Wasserstoff)
- D-S demand site management und dez. Speicher (Z.B. Batterien, incl. BEV)

Röhrenspeicher



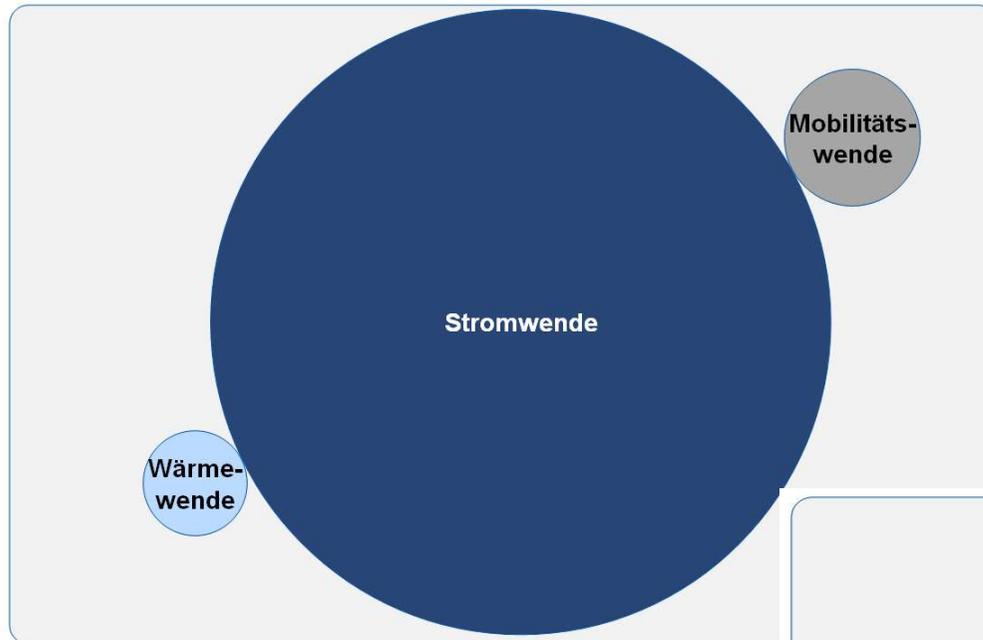
Erneuerbare Primärenergien brauchen
Speicher!

Große Energiemengen lassen sich nur durch
Speicherung chemischer Energie darstellen!

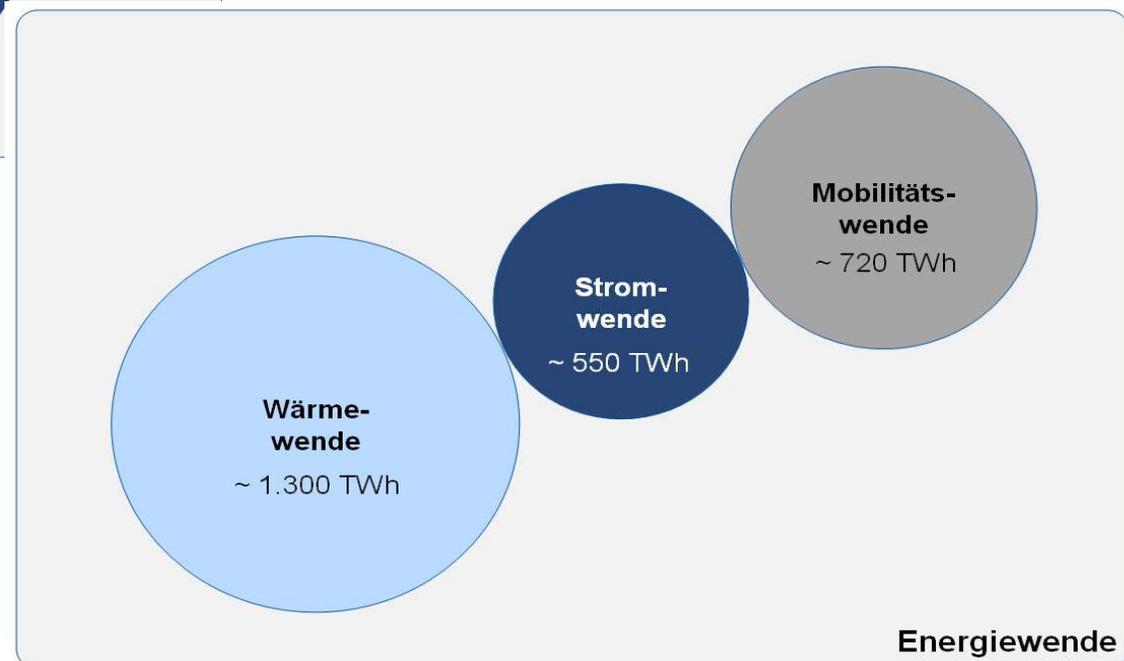


Wasserstoff macht
Erneuerbare Energien grundlastfähig!

„Wahrnehmung“ der Energiewende

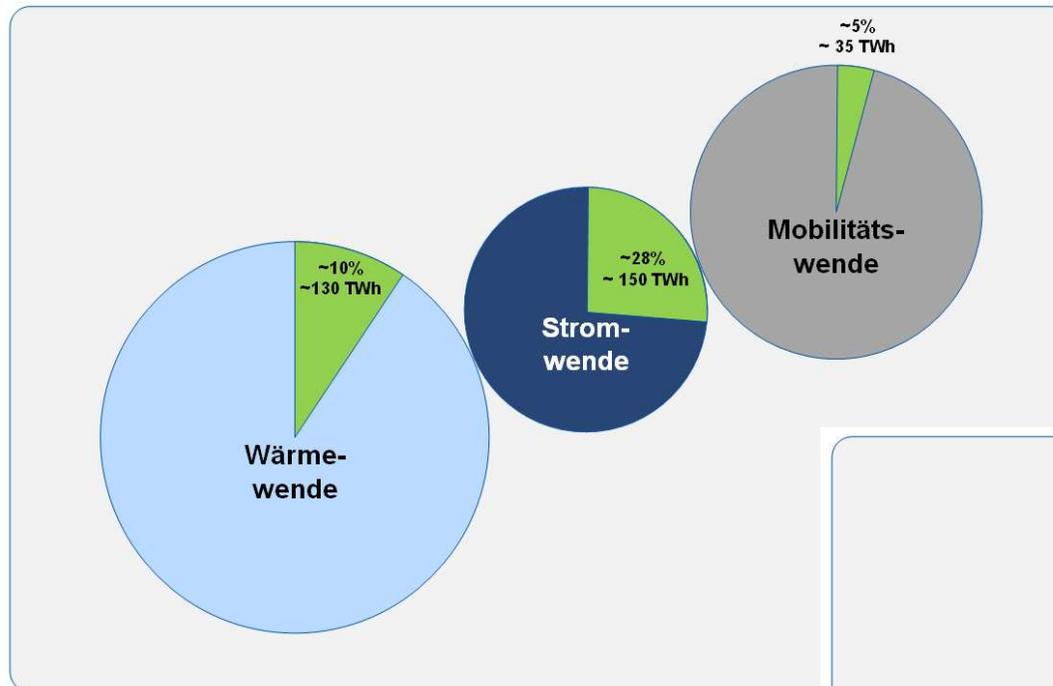


Energiewende nach Marktanteilen

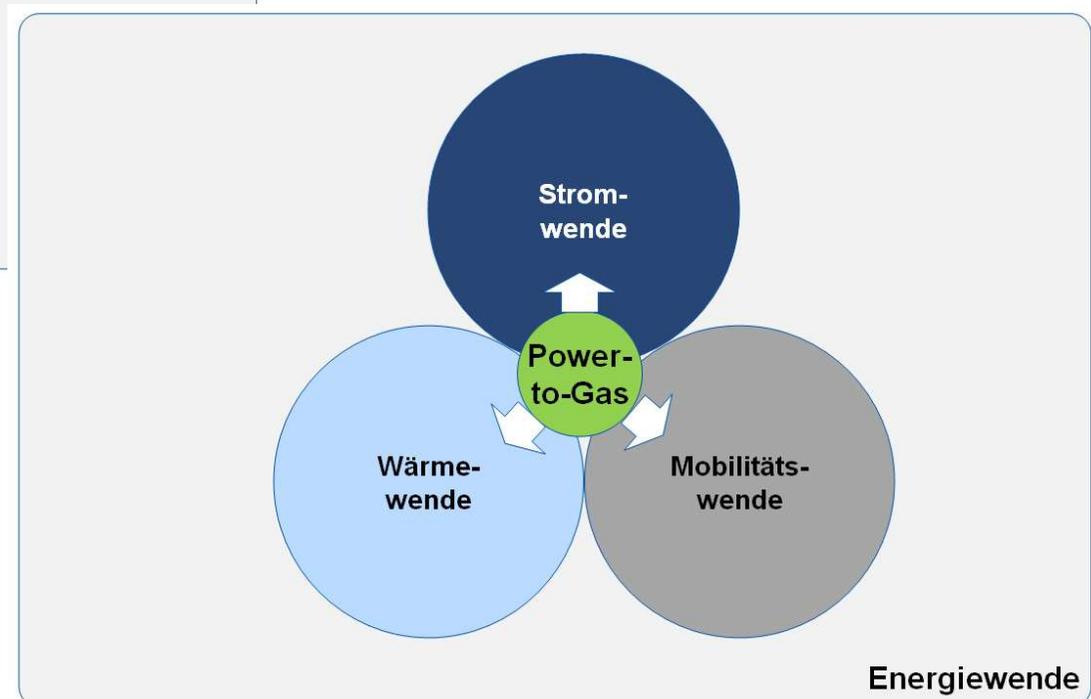


Quelle: RWE

Energiewende: Umsetzung nach Marktanteilen



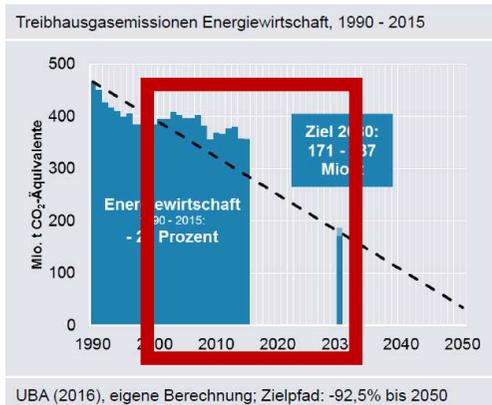
Vernetzung der Energiesektoren
durch „Power to Gas“



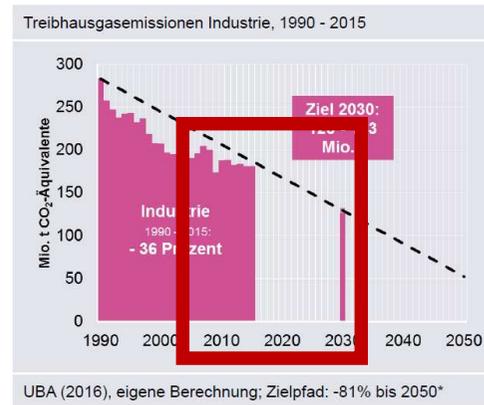
Quelle: RWE

CO₂-Reduktionsziele erfordern umfassende Maßnahmen

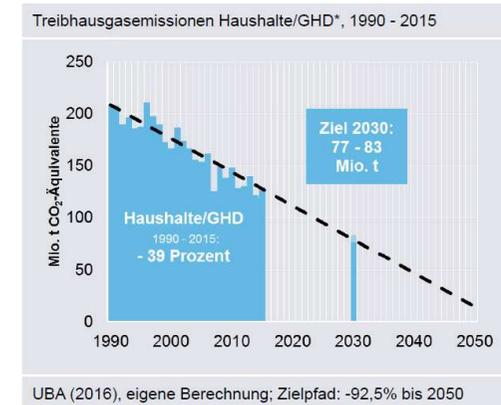
Energiewirtschaft (Ziel: -92,5%)



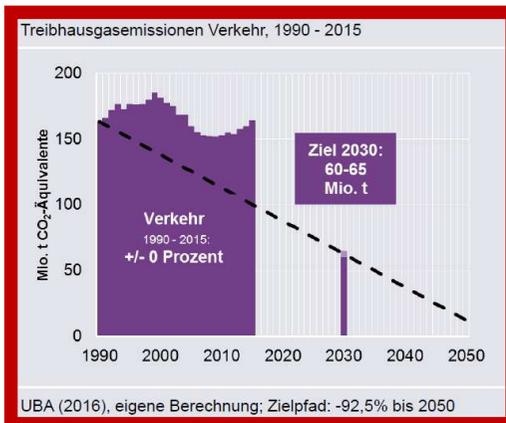
Industrie (Ziel: -81%)



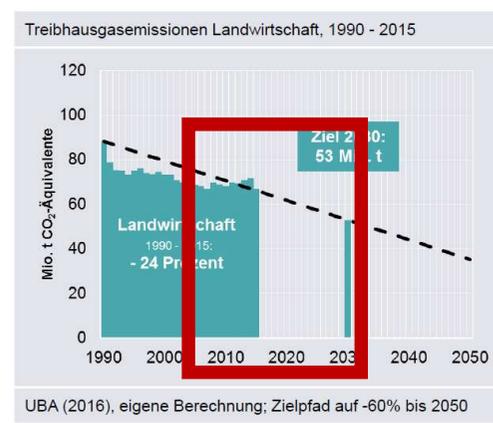
Haushalte / GHD (Ziel: -92,5%)



Verkehr (Ziel: -92,5%)

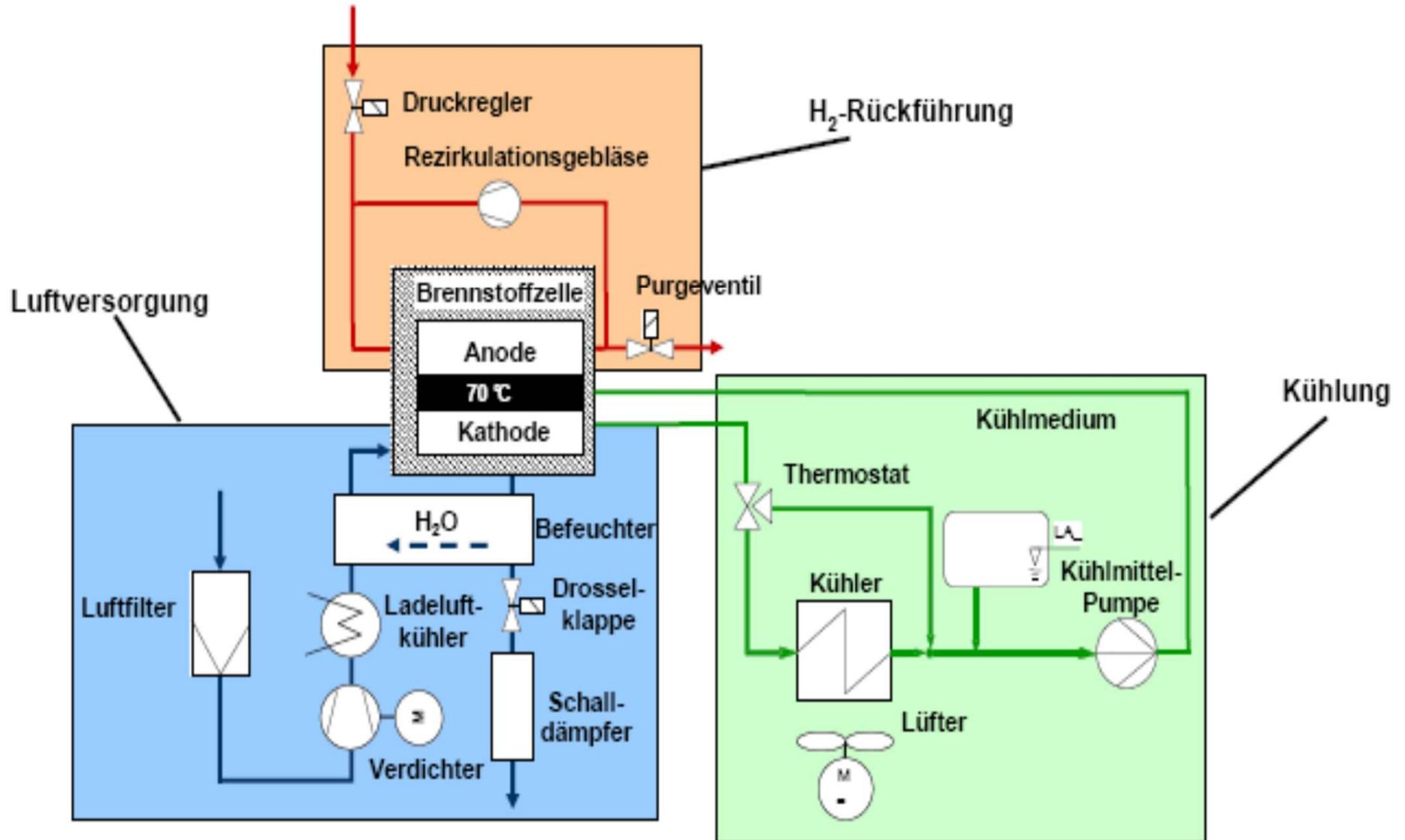


Landwirtschaft (Ziel: -60%)

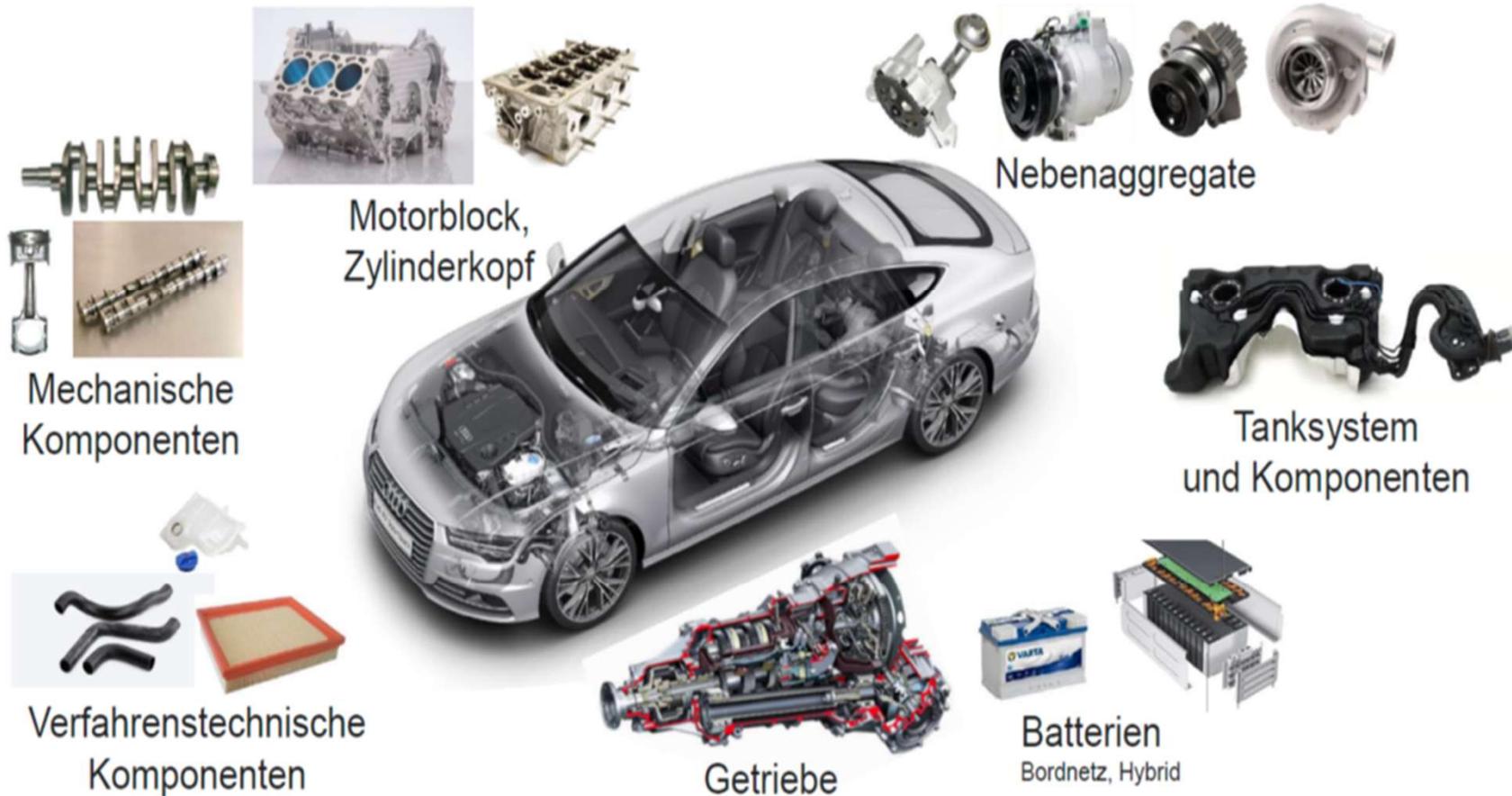


Grafiken:
G. Rosenkranz,
Agora Energiewende, 20.09.2016

System -Konzept einer Tieftemperatur- PEM



Wertschöpfung in Deutschland – Typische Komponenten im konventionellen Fahrzeugantrieb

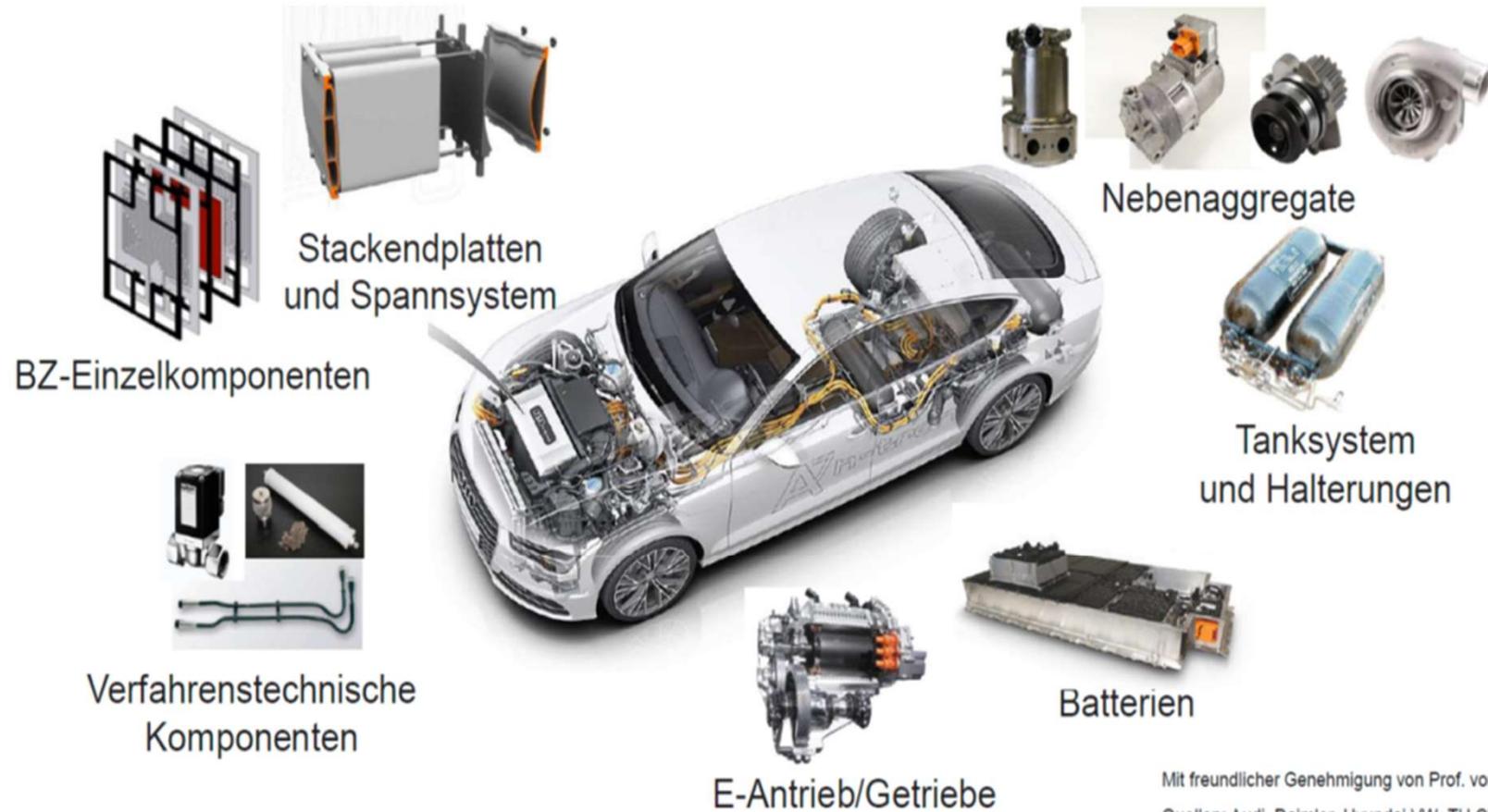


Mit freundlicher Genehmigung von Prof. von Unwerth, TU Chemnitz

Quellen: Audi, Daimler, Hyundai VW, TU Chemnitz

- Gesamtsystem ca. 50% Rohstoffanteil
- Insgesamt ca. 1.200 vs. FCEV 900 vs. BEV 200 Bauteile

Wertschöpfung in Deutschland – Typische Komponenten im Brennstoffzellen-Fahrzeugantrieb

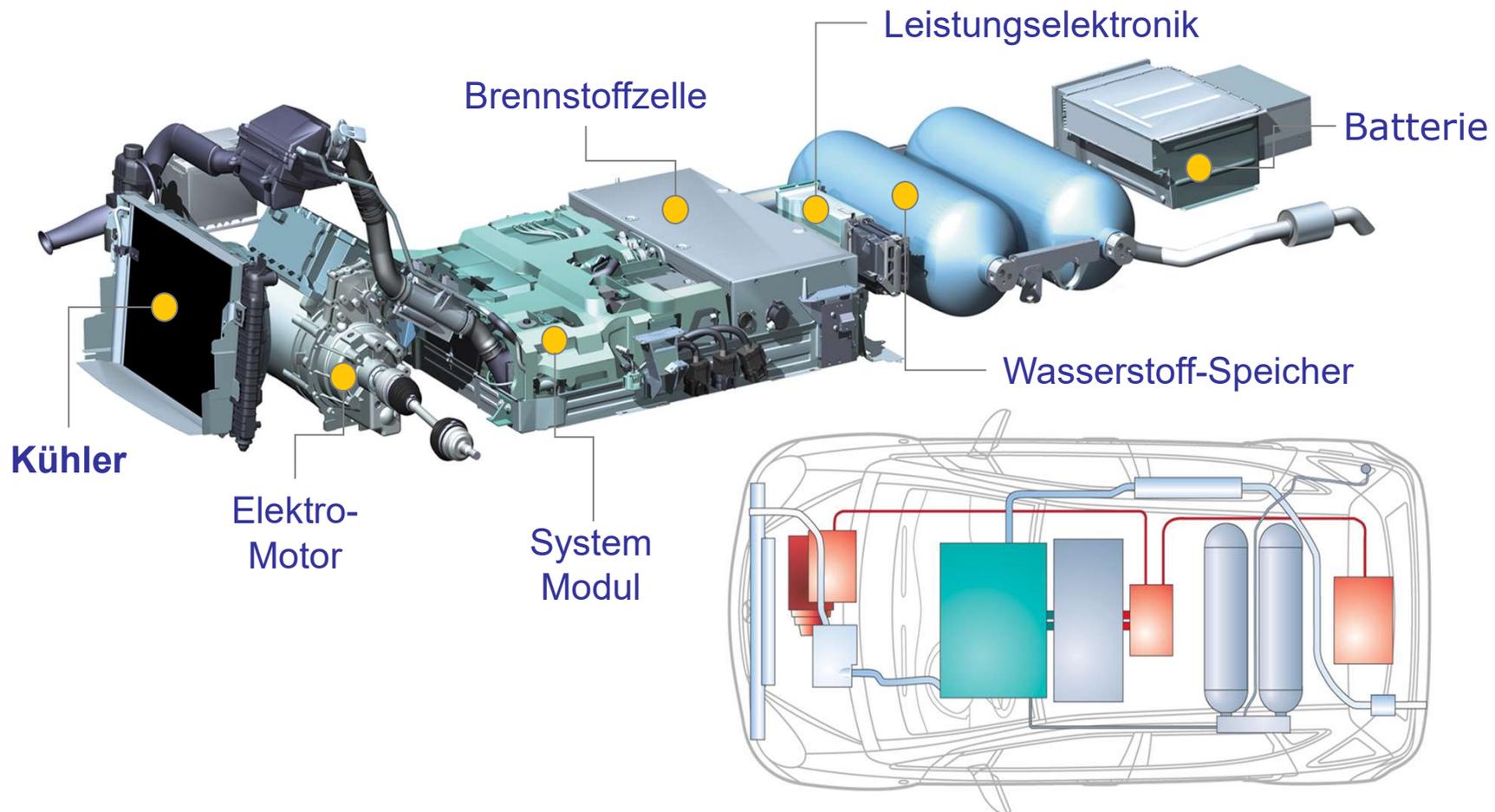


Mit freundlicher Genehmigung von Prof. von Unwerth, TU Chemnitz
Quellen: Audi, Daimler, Hyundai VW, TU Chemnitz

- Gesamtsystem ca. 50% Rohstoffanteil
- Insgesamt ca. 1.200 vs. FCEV 900 vs. BEV 200 Bauteile

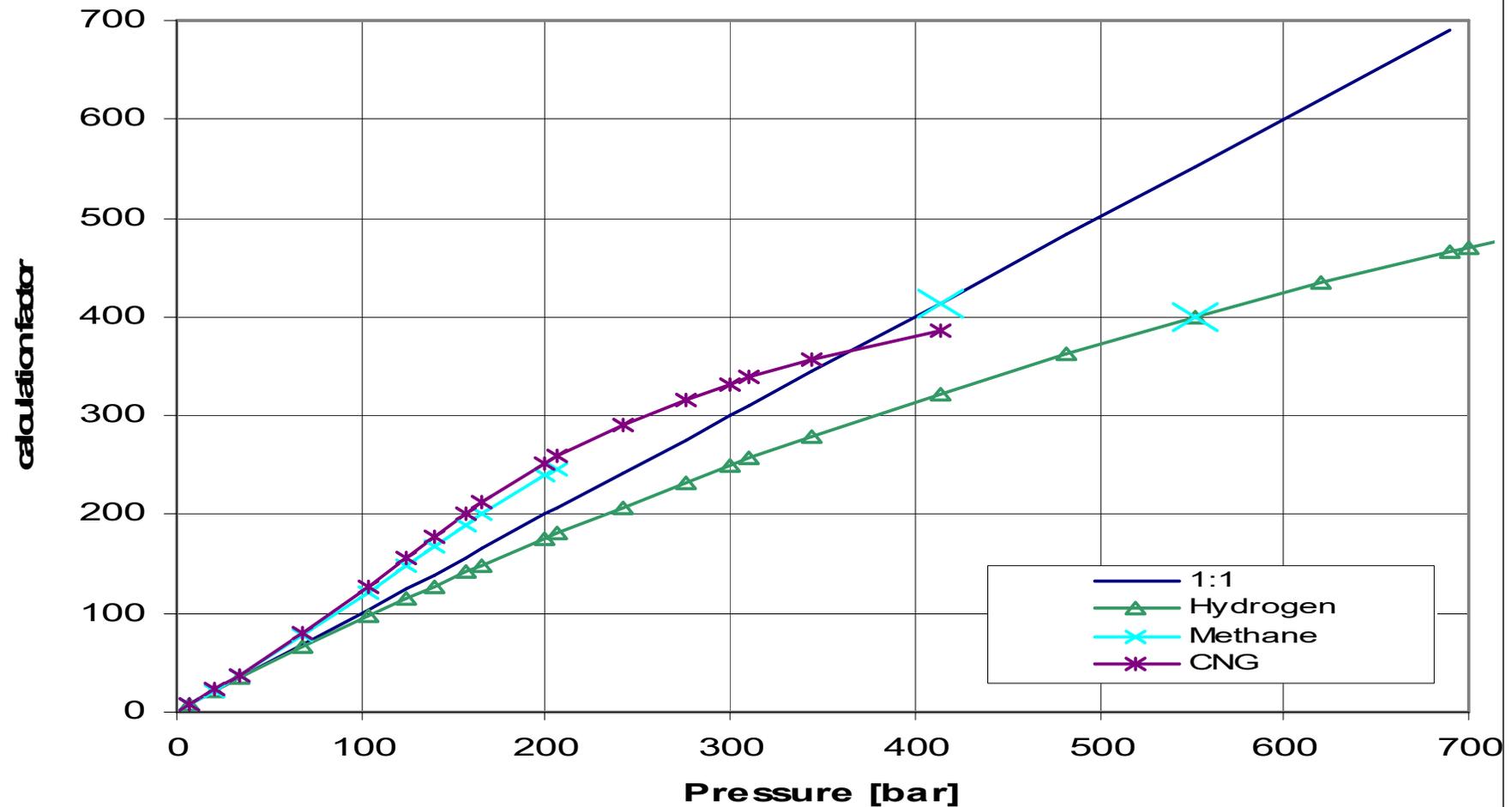
Daimler, FCell

Anordnung der Komponenten



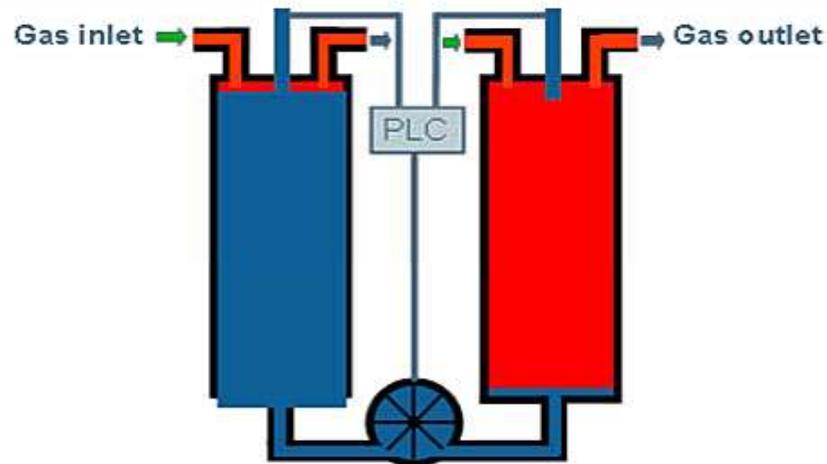
Kompressionsfaktoren

**Calculation of Gas Content [Nm³] =
water capacity [m³] x calculation factor**



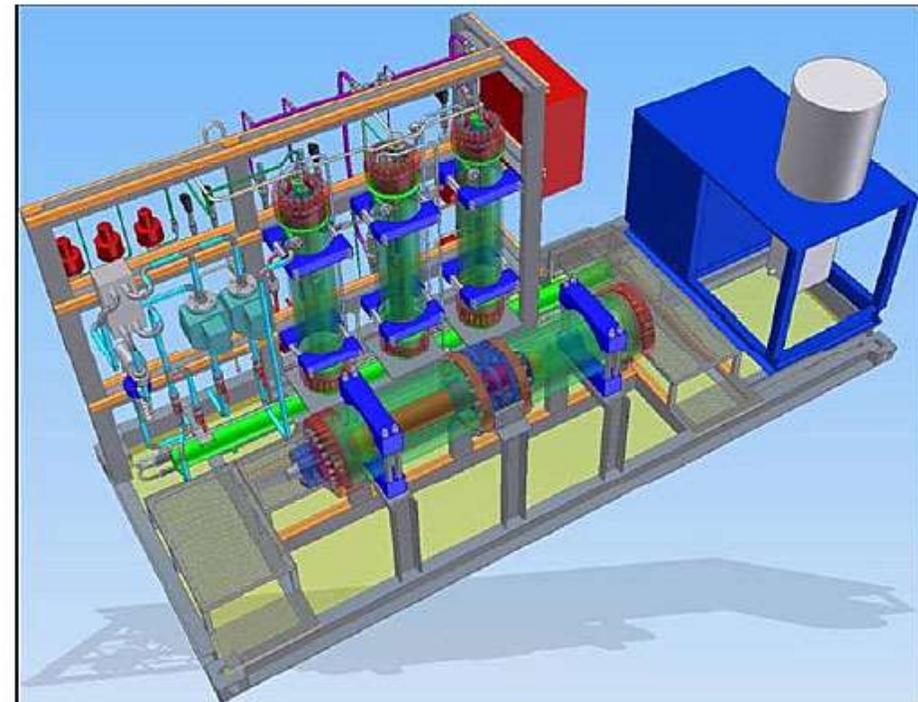
Kolben-Kompressor



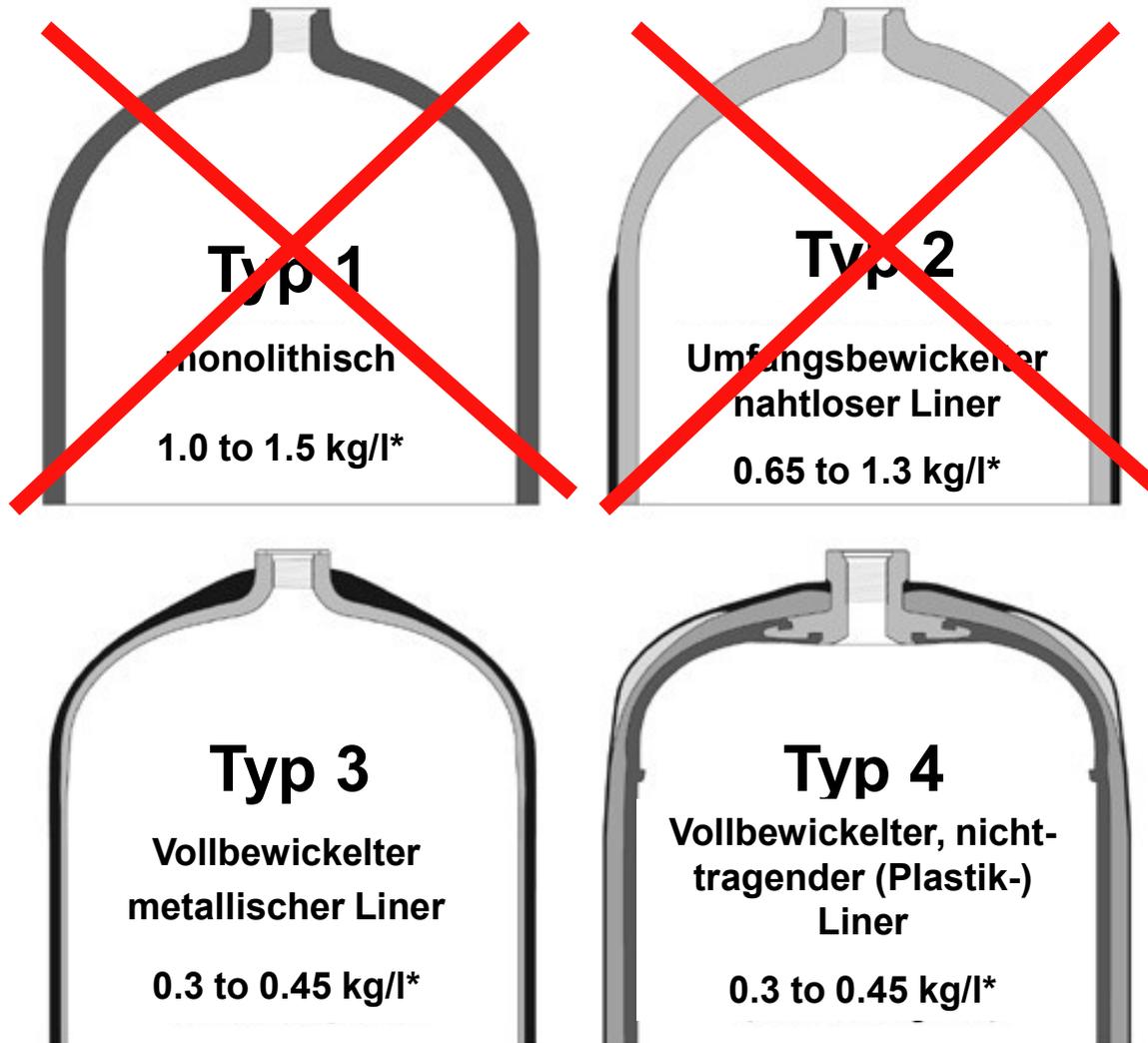


Ionischer Verdichter der Fa. Linde

- High delivery rate 10 – 500 m³/h technology in a 20 feet container
- Isotherm compression
- No vapor pressure of ionic liquid
- no solvent of the gas in ionic liquid
- Nearly free designable
- Good lubricating properties
- No contamination of gas flow
- No abrasion
- No sealing system
- Less moving parts
- Low maintenance costs
- Variable inlet pressure (20 mbar to 25 bar)



Grundlegende Bauweisen von CH₂-Behältern



* Typische Gewichtsspanne für 200 bar Behälter

Typ 3 H₂-Behälter

- Einteiliger metallischer (Edelstahl- oder Aluminium-) Liner
- dicht
- Hohe Aufprallsicherheit durch metallischen Liner
- Geeignet für schnelle Befüllung
- Höhere Kosten durch metall. Liner
- Begrenzung der Lebensdauer durch Ermüdung des metall. Liners

Typ 4 H₂-Behälter

- mehrteiliger Liner, Abdichtung Kunststoff/Metall problematisch
- zusätzlicher Aufprallschutz erforderlich
- weniger schnell befüllbar
- Gefahr der Ablösung des Kunststoffliners bei schnellem Druckabfall
- elektrostatische Aufladung möglich – Erdung erforderlich
- keine Befestigung am Hals
- preiswert, Massenproduktion



Typ 3

Vollbewickelter
metallischer
Liner

0.3 to 0.45 kg/l*



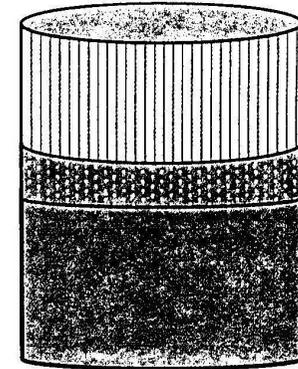
Typ 4

Vollbewickelter,
nicht- tragender
(Plastik-) Liner

0.3 to 0.45 kg/l*

Energie -Bedarf für die H₂-Verflüssigung

1) Cooling	$Q_1 = (1/\eta_c) c_p \Delta T$	= 1,58kWh/kg
2) O \Rightarrow P-Conversion	$Q_2 = (1/\eta_c) C_{O \rightarrow P}$	= 0,62kWh/kg
3) Condensation	$Q_3 = (1/\eta_c) H_v$	= 1,72kWh/kg
	Q_{total}	= 3,92kWh/kg

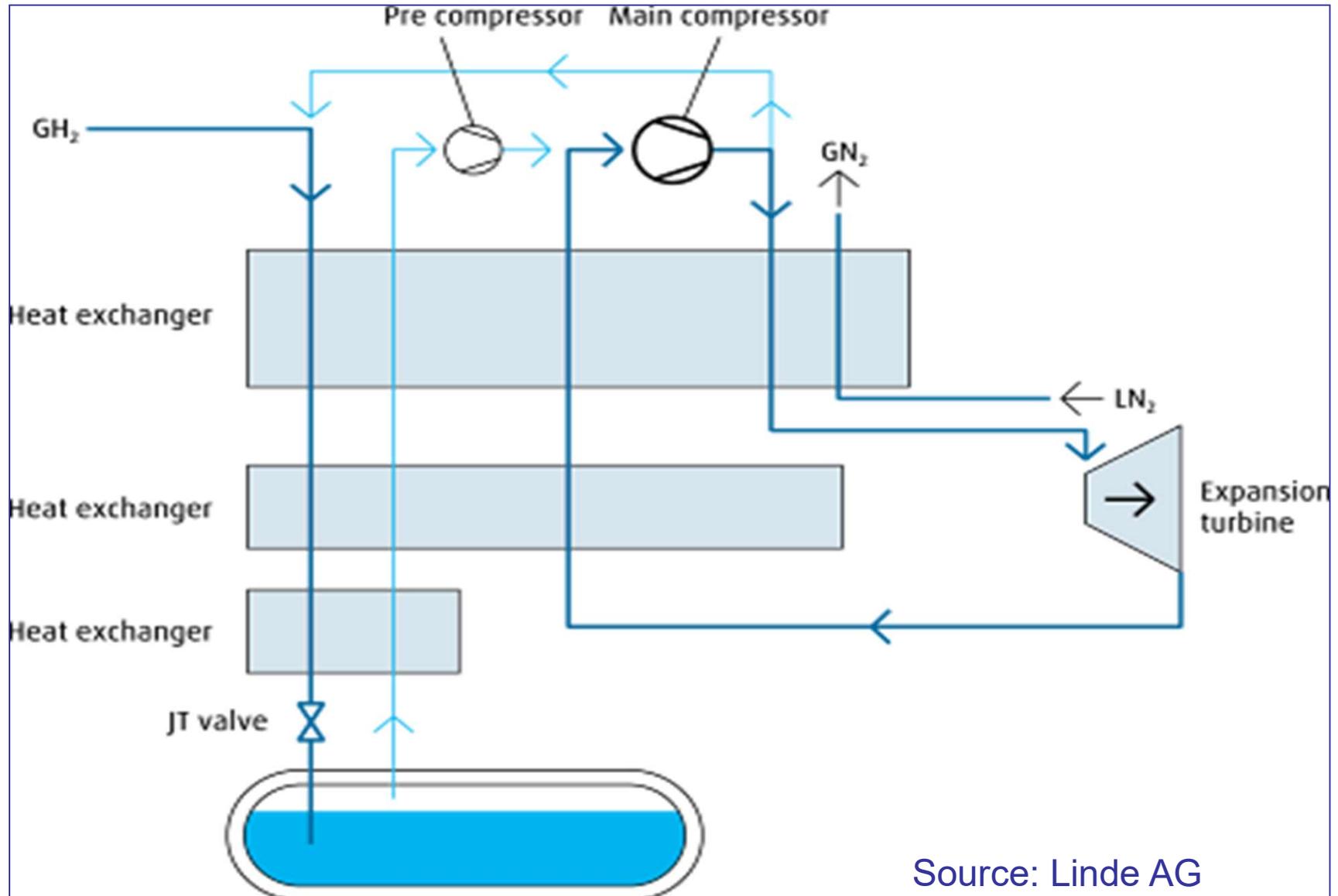


Evaporation enthalpie $H_v = 0,13\text{kWh/kg}$

For comparison: Energy content of hydrogen:

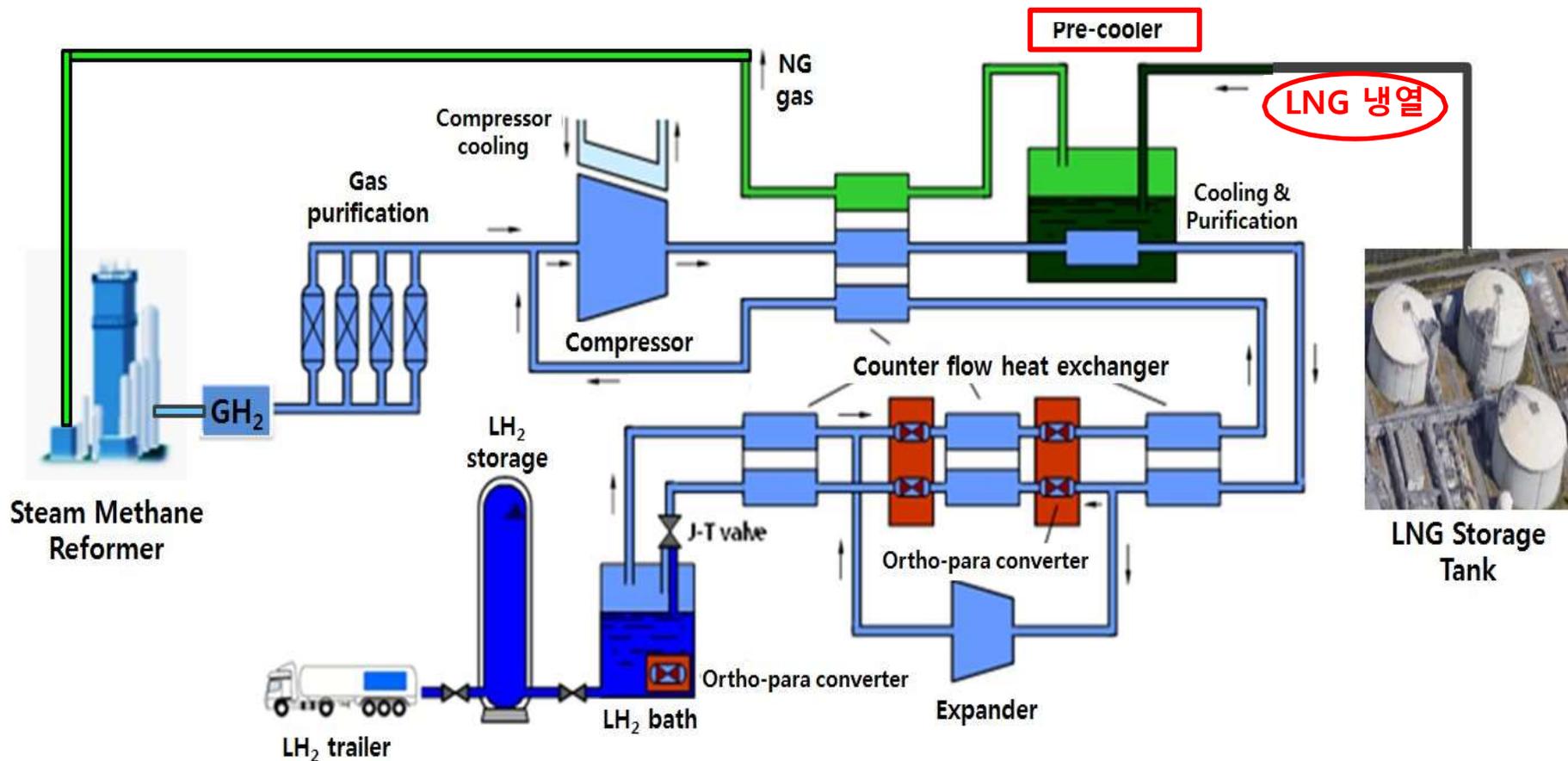
$$Q (\text{H}_2) = 33,3 \text{ kWh/kg (lower value)}$$

H_2 -Verflüssigung



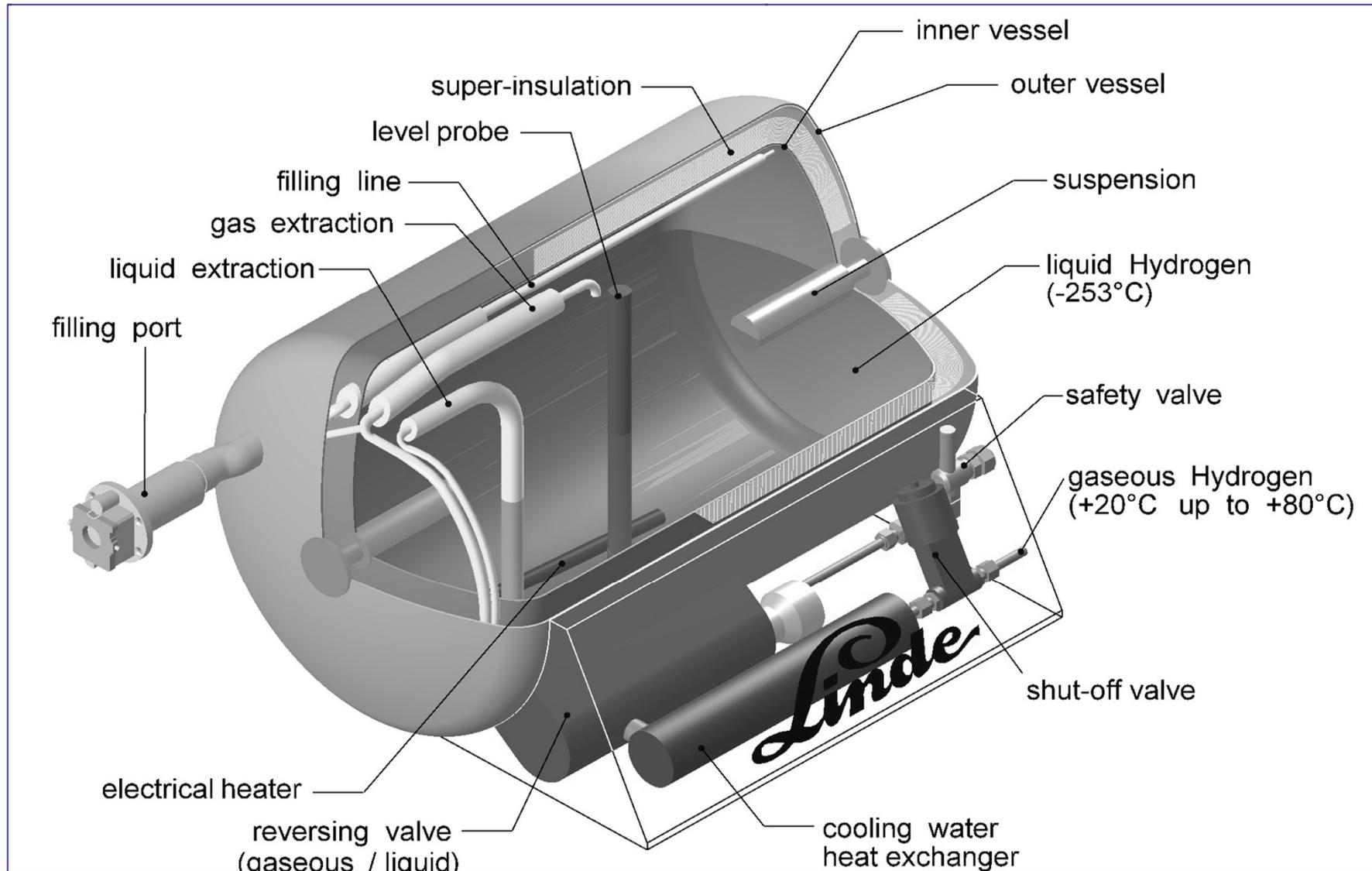
Source: Linde AG

- The hydrogen liquefaction process using LNG refrigeration reduces liquefaction energy by 30 to 40% compared to the conventional process



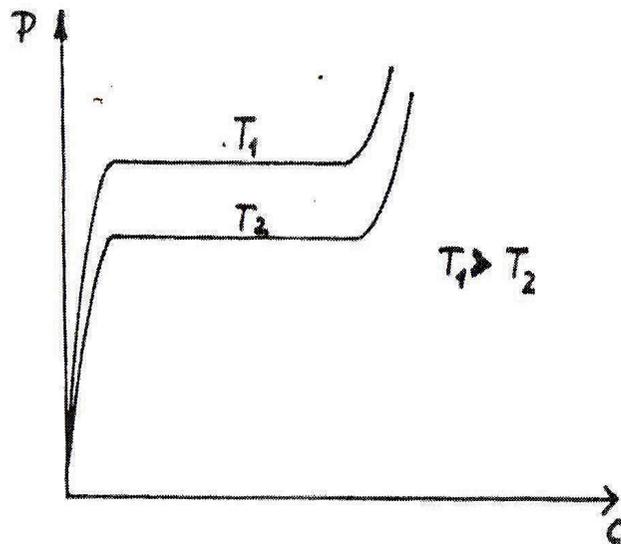
< LNG Hydrogen liquefaction process using cold heat >

LH₂- Tank



Metall-Hydride

Chemische Reaktion:



Gemäß Massenwirkungsgesetz :

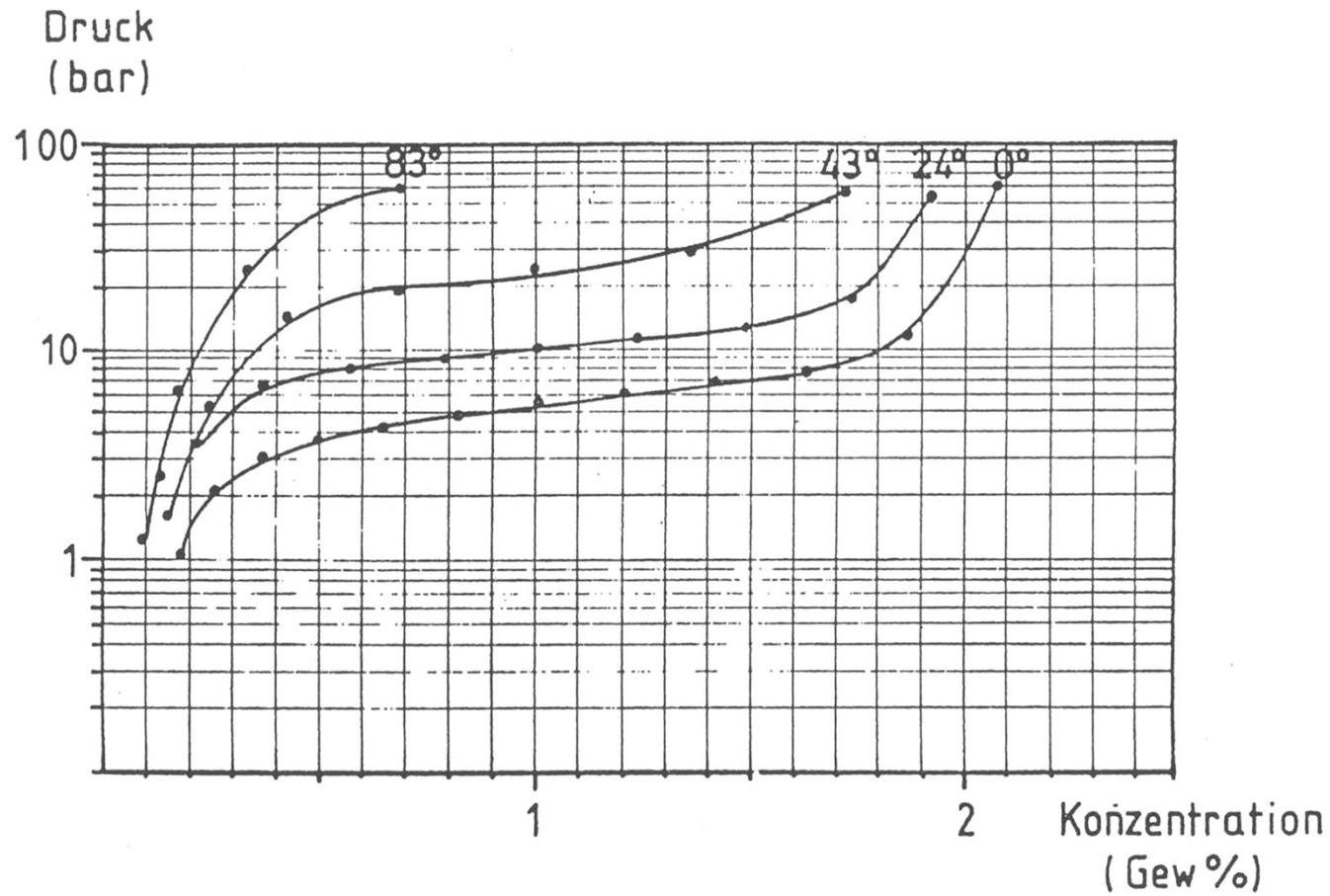
$$RT \ln p = -\Delta G \quad (\text{G} = \text{Gibbs' Enthalpie})$$

$$RT \ln p = -\Delta H + T\Delta S \quad (\Delta S = \text{Entropiedifferenz} \\ = \text{const.} \approx 120 \text{ J/mol K})$$

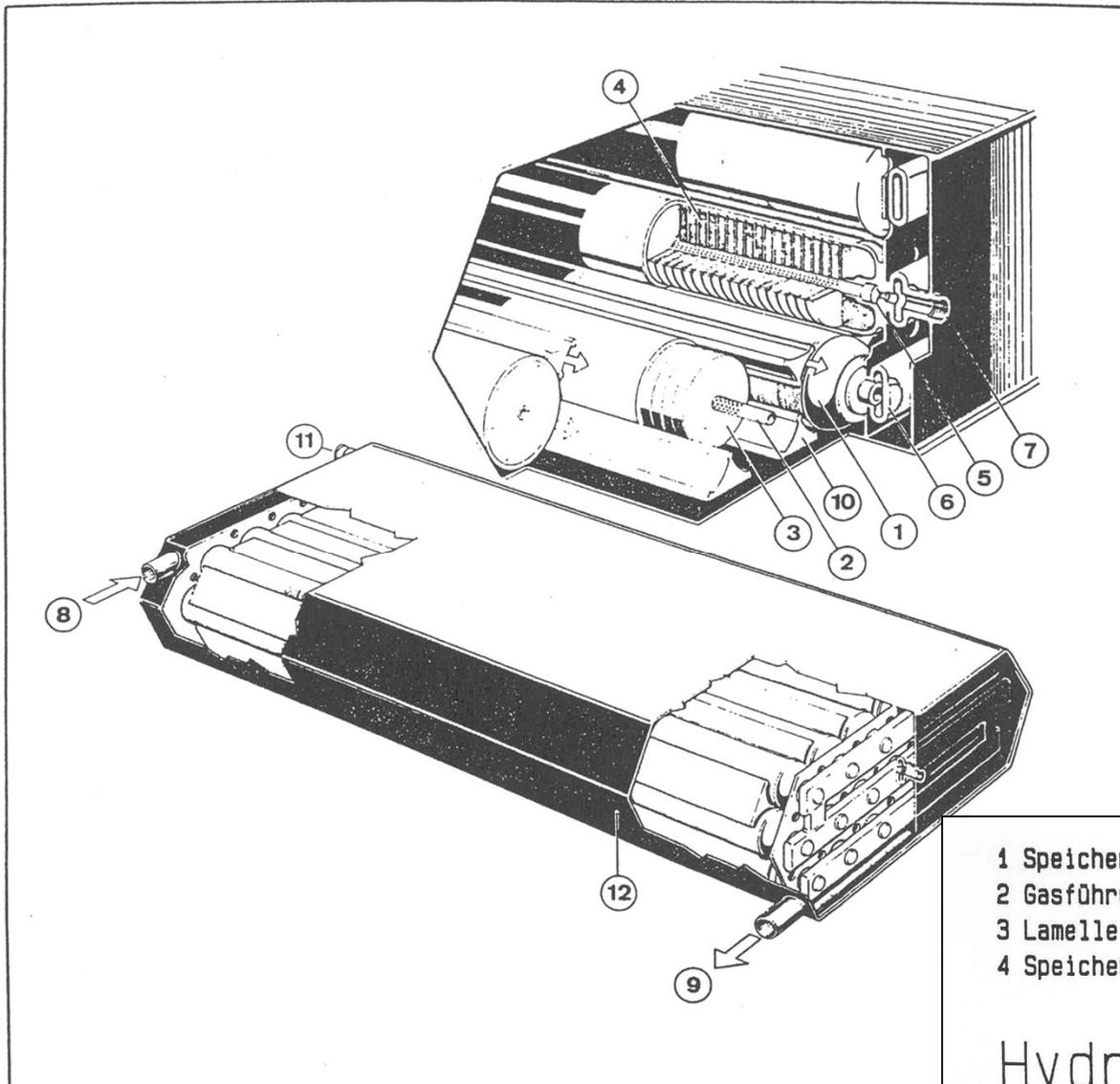
“van t' Hoff-Isochoren“

$$\rightarrow \Delta H = T(1\text{bar}) \Delta S$$

- 1.) $\Delta H \approx 25 - 30 \text{ kJ/mol}$
Tieftemp.-Hydride: $T(1 \text{ bar}) \approx -20^\circ - 0^\circ\text{C}$
- 2.) $\Delta H \approx 60 - 75 \text{ kJ/mol}$
Hochtemp.-Hydride: $T(1 \text{ bar}) \approx 250 - 300^\circ\text{C}$



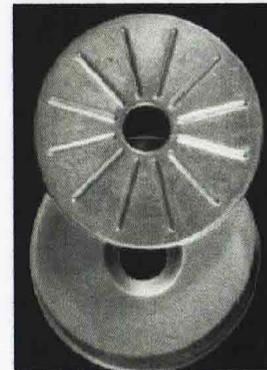
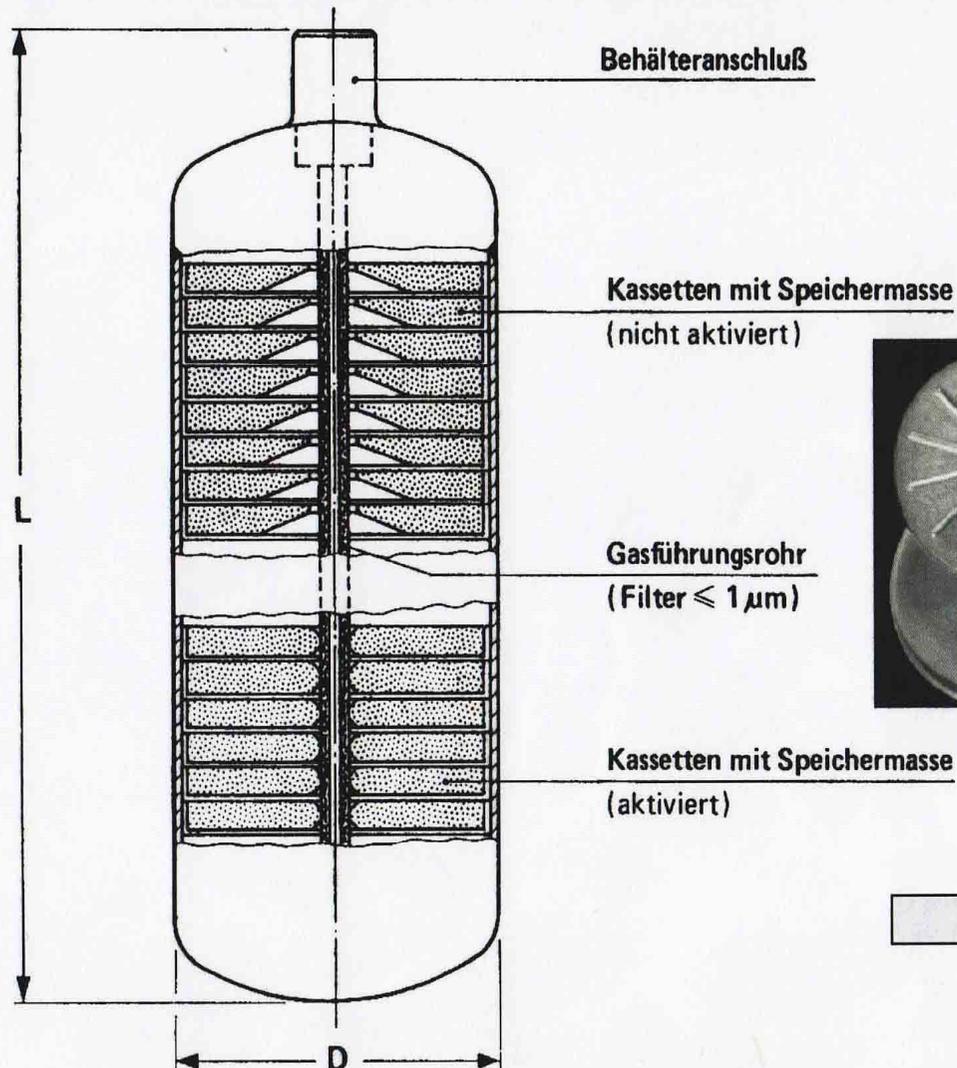
Druck - Konzentrations - Isothermen
 $\text{Ti}_{0.98} \text{Zr}_{0.02} \text{V}_{0.45} \text{Fe}_{0.01} \text{Cr}_{0.05} \text{Mn}_{1.5} - \text{H}$



- | | | |
|-------------------|----------------------------|----------------|
| 1 Speicherrohr | 5 Filter (Sintermetall) | 9 Wasserauslaß |
| 2 Gasführungsrohr | 6 Gassammler | 10 Füllkörper |
| 3 Lamelle (Al) | 7 H ₂ -Anschluß | 11 Entlüftung |
| 4 Speichermasse | 8 Wassereinlaß | 12 Mantel |

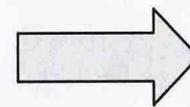
Hydridspeicher

Kassettenbauweise mit äußerem Kühlmittelmantel aus Alu



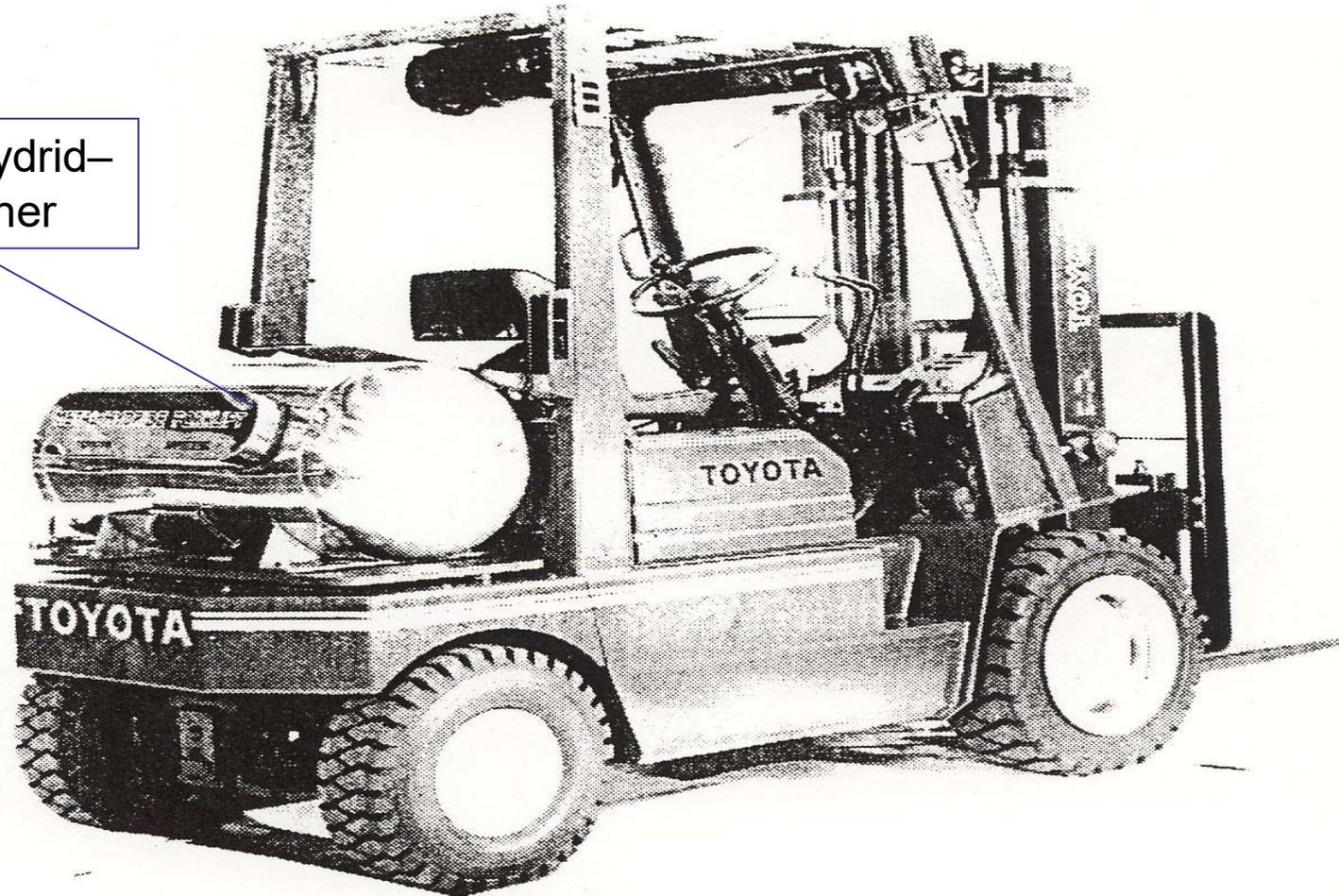
Daten:

- 4,5kg Metallhydrid
- Energieinhalt: 1000kJ
- Energieabgabe: 750kJ
- Länge: 45cm
- Durchmesser: 10cm
- Gewicht: <10kg
- Volumen: 3,5 Liter



ca. 3 - fache Volumenreduktion
ca. 2 - fache Gewichtsreduktion

Metall-Hydrid-
Speicher



Metall-Hydride: Anwendungen

Kleinste Anwendung scheint ein Laptop zu sein,
am häufigsten tragbare Lade- oder Notstromsysteme
Weitere Anwendungen sind U-Boote mit Brennstoffzellen oder
emissionssensibler Betrieb von Booten (Naturschutzgebiete) und
Arbeitsmaschinen (unter Tage, in reinen Produktionshallen)



H₂-Füllkupplung

360 bar Bus



700 bar PKW



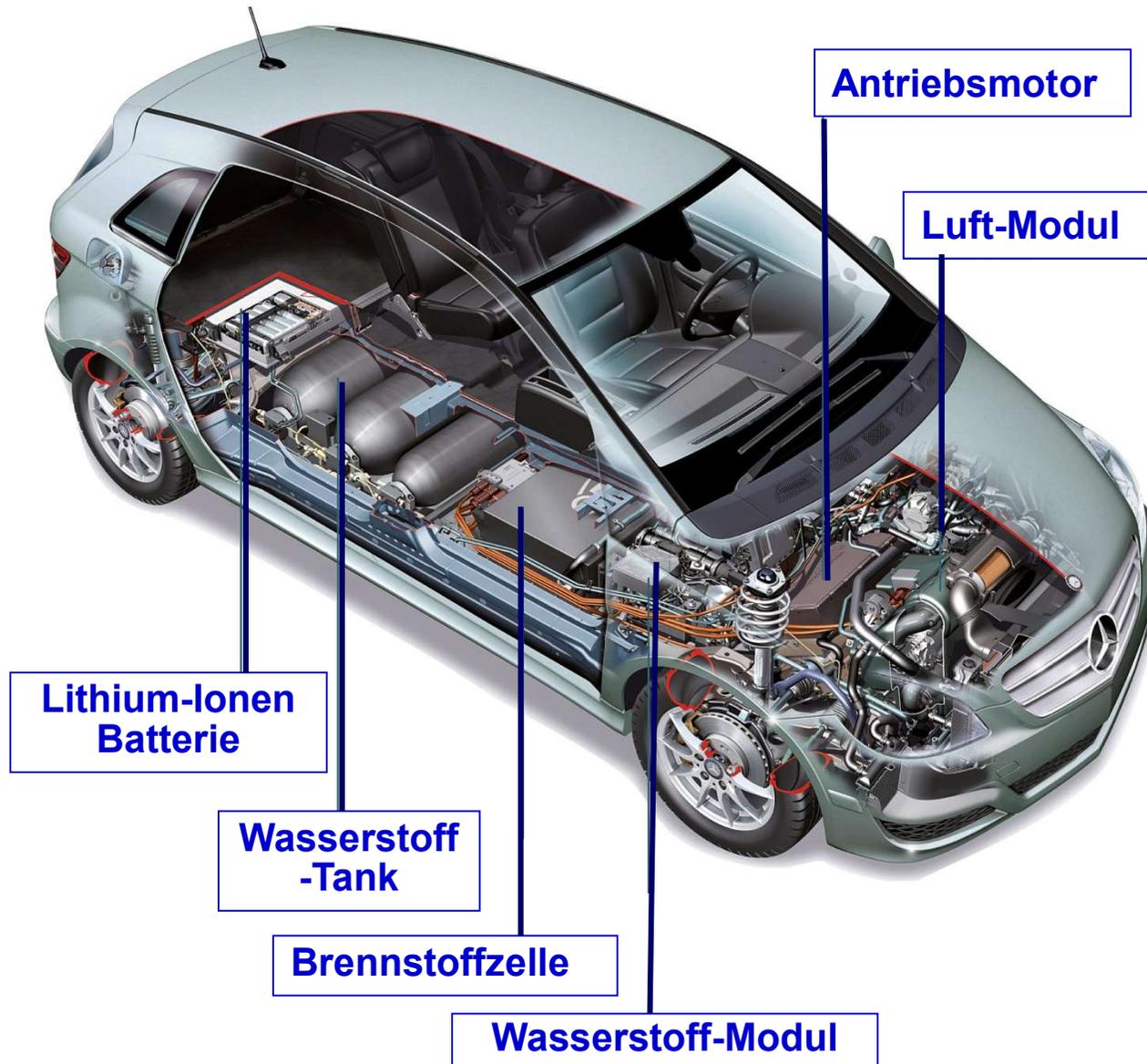
Abreiss-Kupplung



Brennstoffzellen-Fahrzeug Mercedes-Benz B-Klasse

Wesentliche Fakten

- 1) Fahrzeug konstruiert, gebaut und zugelassen unter Serienbedingungen
- 2) Getestet bei Weltumrundung in 125 Tagen mit 30.000 km
- 3) Serie ähnlicher Fahrzeuge in 2017



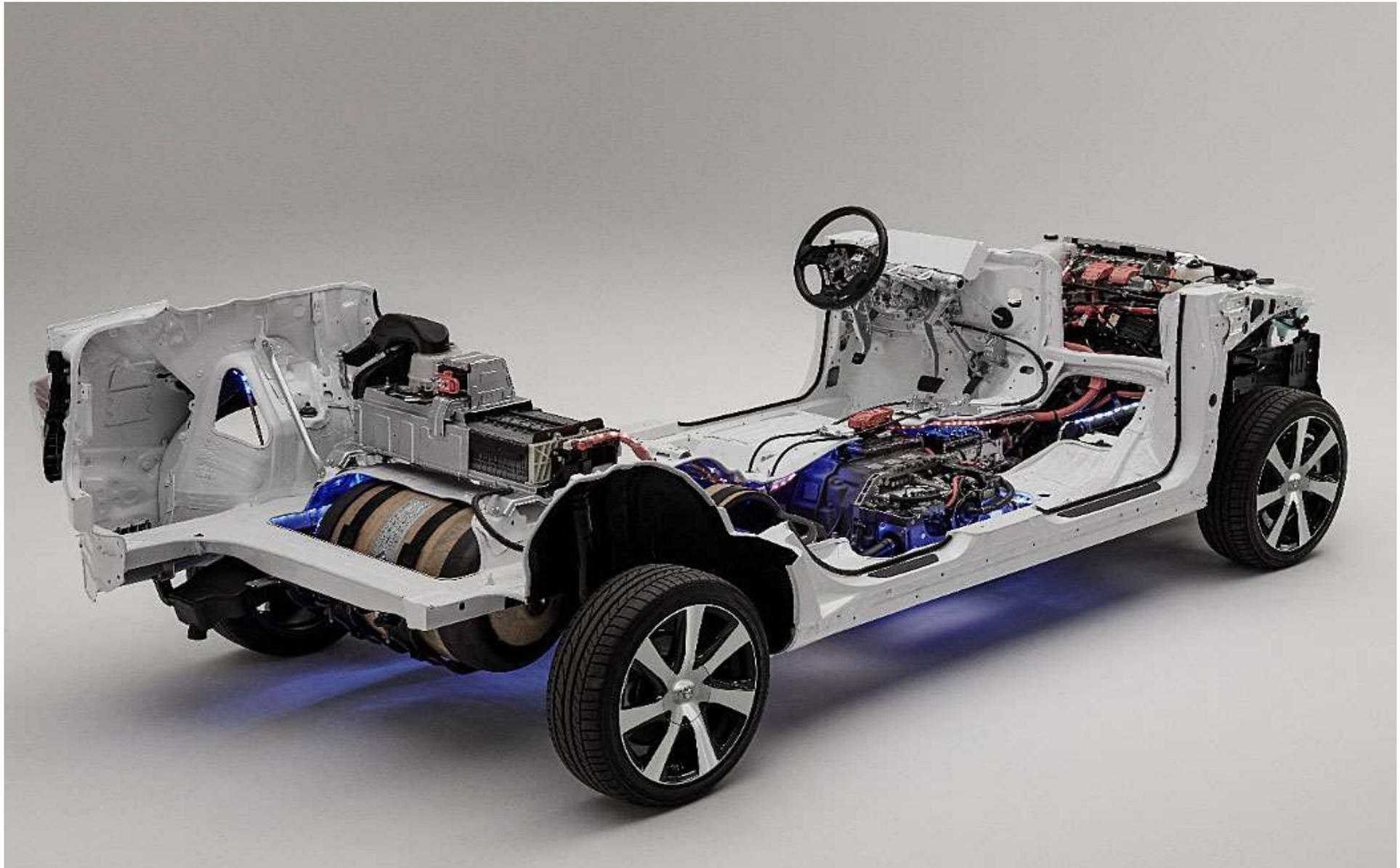
Toyota : Der neue Mirai 2



Toyota : Der neue Mirai 2



Toyota : Der neue Mirai 2



Hyundai Nexo



- H₂-Speicher 6,3 kg
- E-Motor-Leistung 120 kW
- Drehmoment 395 Nm
- Beschleunigung 9,2 s auf 100 km/h
- Höchstgeschwindigkeit 180 km/h
- Reichweite fast 600 km
(NEFZ 756 km)
- Leergewicht ca. 1.800 kg
- Nutzlast ± 500 kg
- L 4.670 x B 1.860 x H 1.630 mm
- Bruttoverkaufspreis 69.000 €

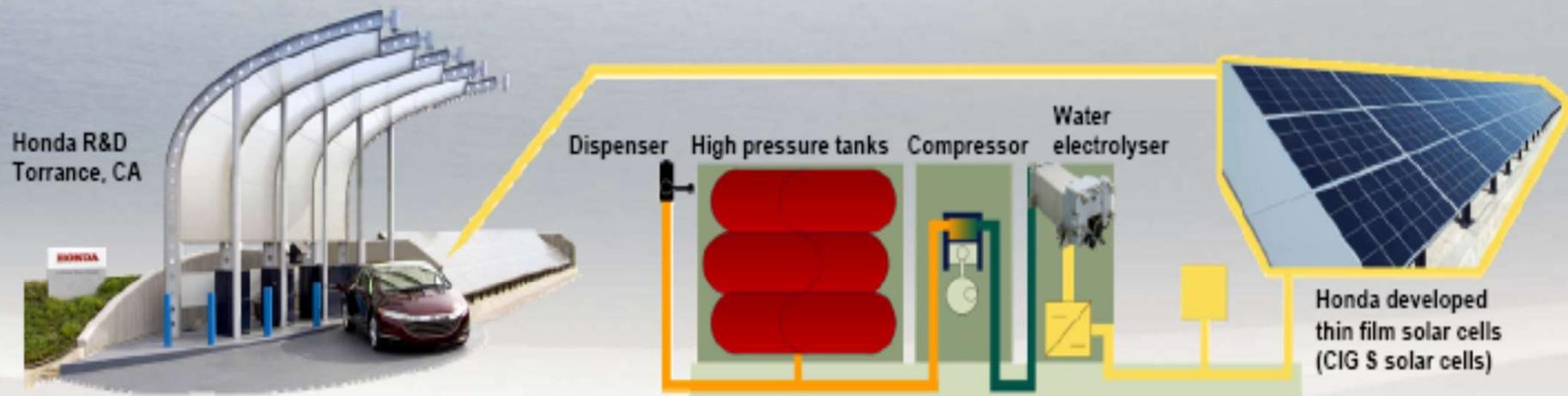
Konzept von Honda



Konzept von Honda

HONDA

Solar-powered Hydrogen Station



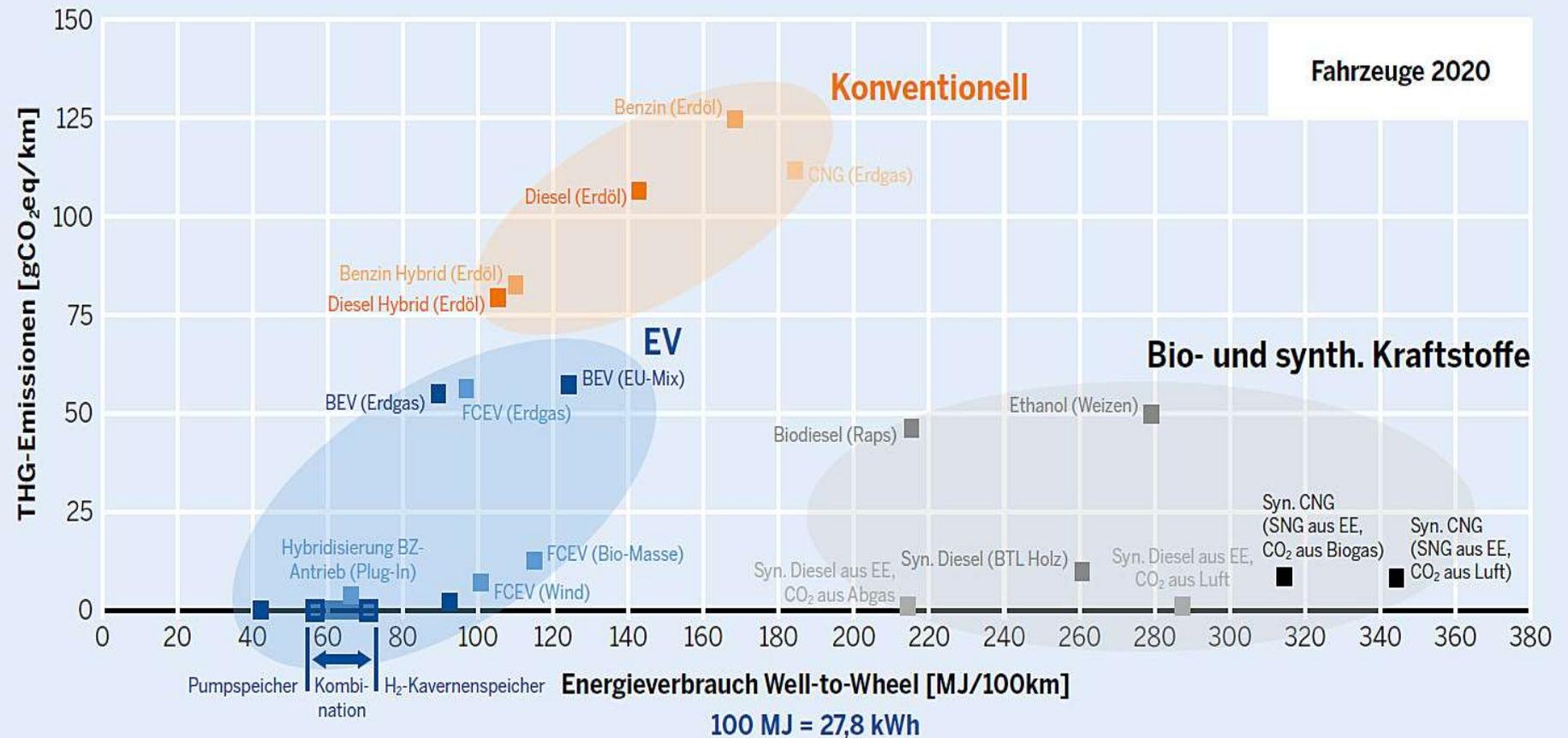
Honda is conducting feasibility tests on solar-powered hydrogen re-fueling stations since 2001.

The station built on Honda R&D Americas employs a Honda water-electrolyzing module and utilizes the next generation thin film solar cells of Honda.

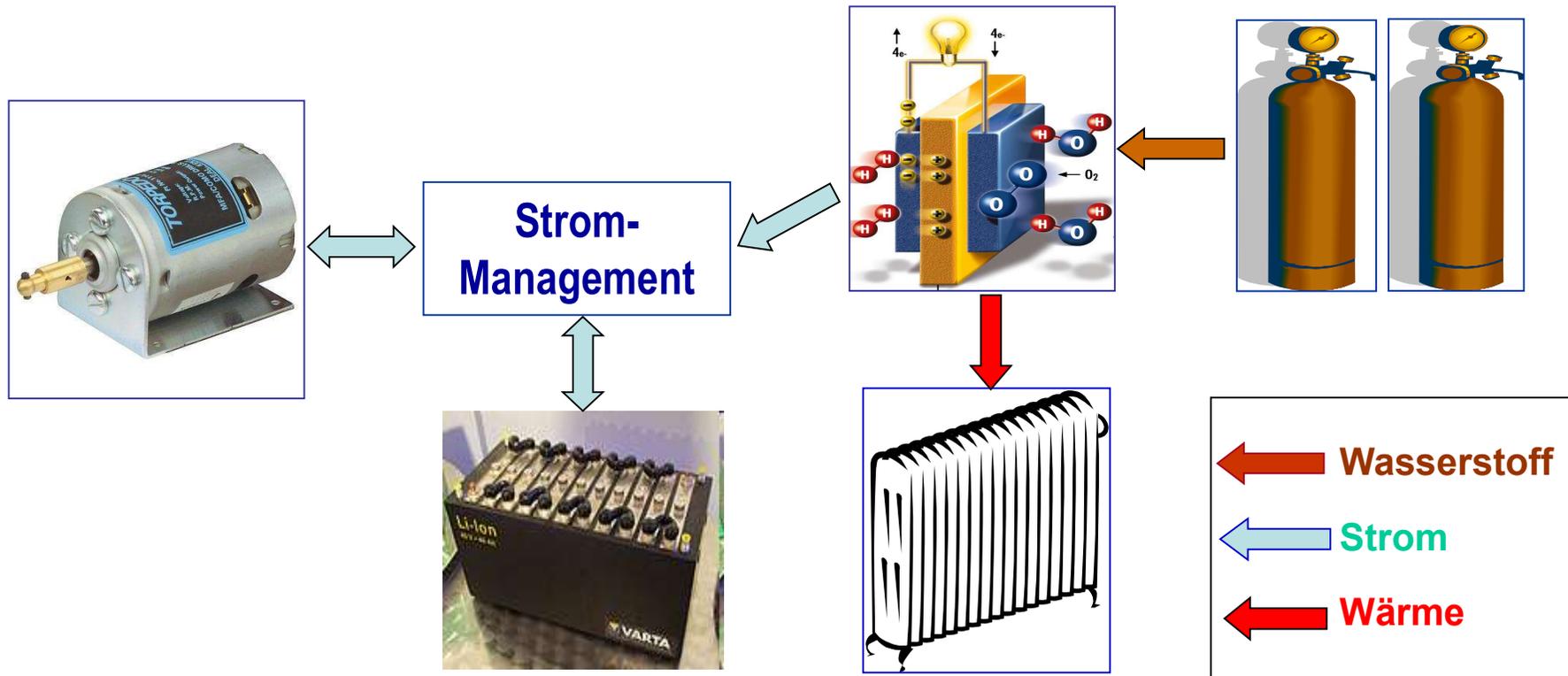
Based on a highly efficient water- electrolyzing module, high- pressure hydrogen production efficiency has reached remarkable levels of 52% to 66%.

WtW-Analysen verschiedener Kraftstoff-Pfade und CO₂-Emissionen

Spezifische THG-Emissionen und Primärenergieaufwände für Pkw-Fahrzeugantriebe (Nachhaltigkeit, Ökologie, Optiresource)

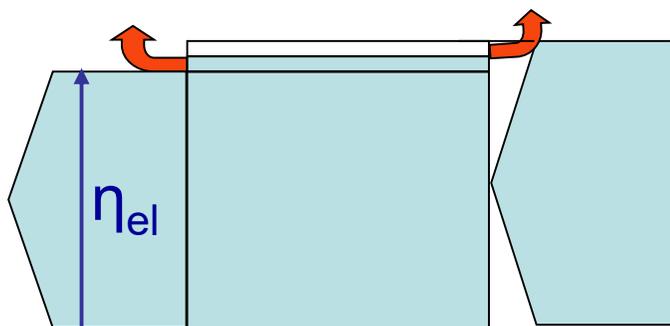


Antriebs-Strang eines H_2 /BZ-Hybrid-Fahrzeuges

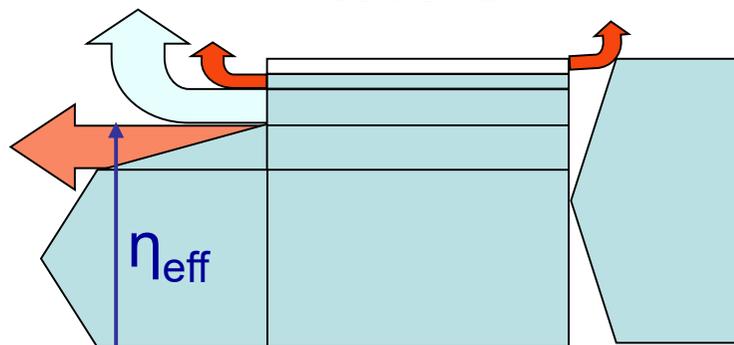


Vergleich Wirkungsgrade: Batterie ↔ Brennstoffzelle

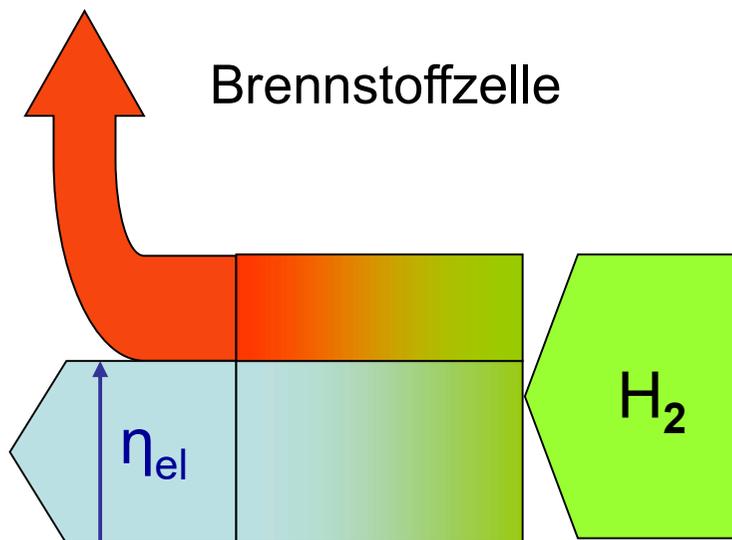
Batterie



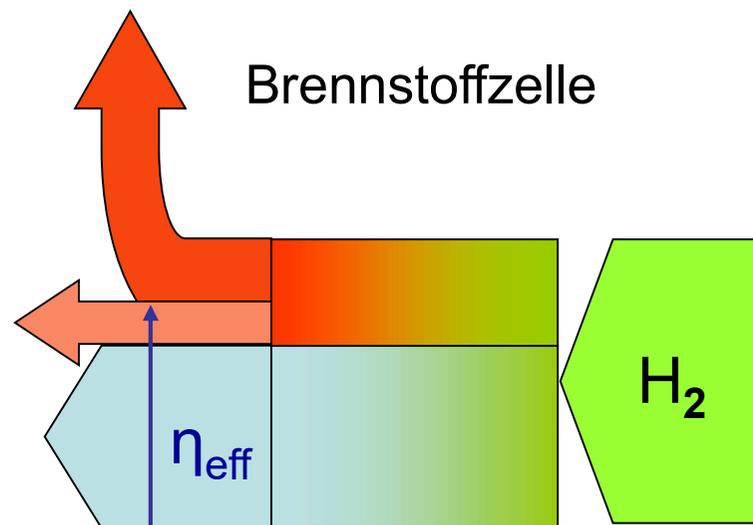
Batterie



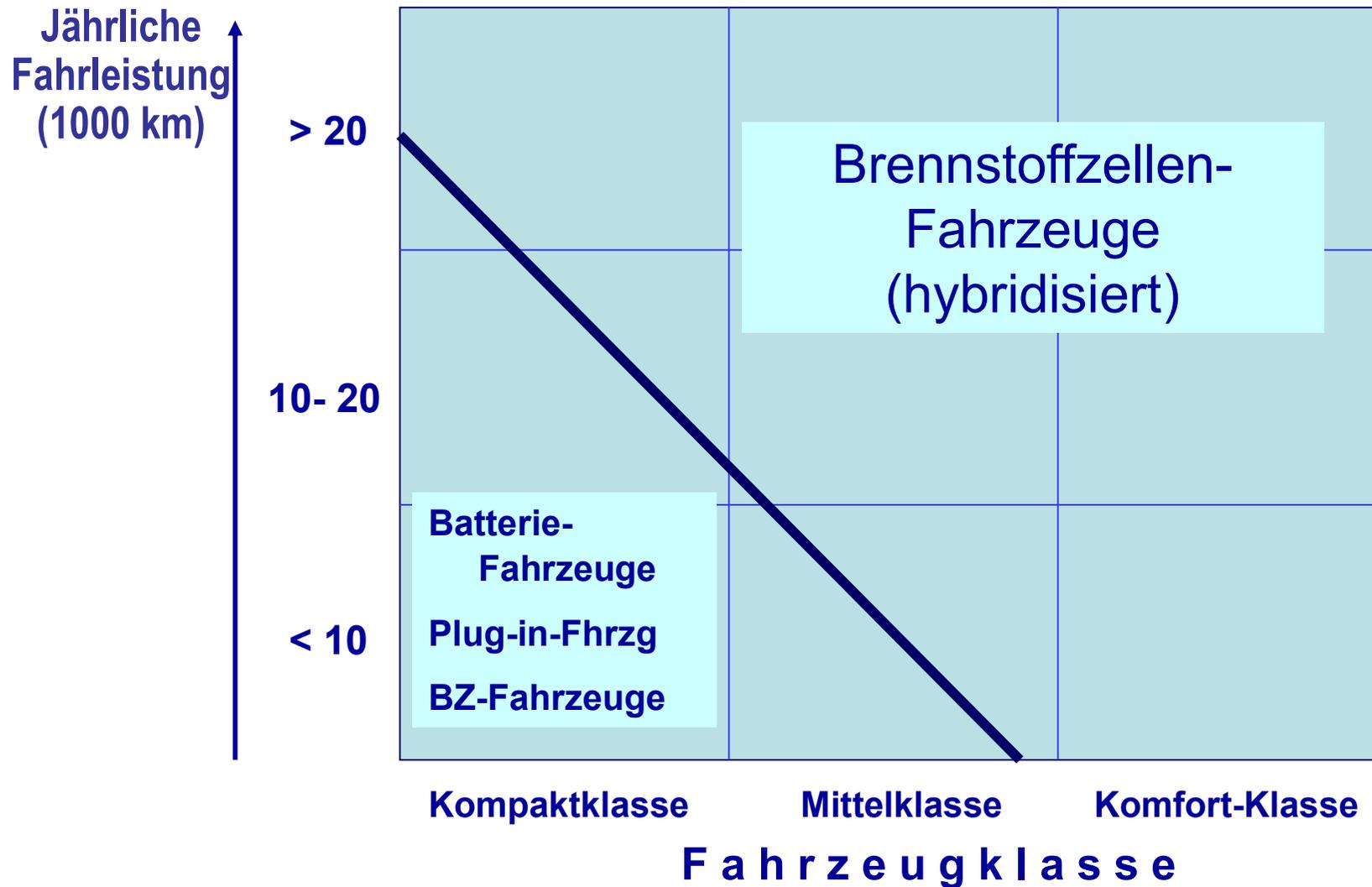
Brennstoffzelle



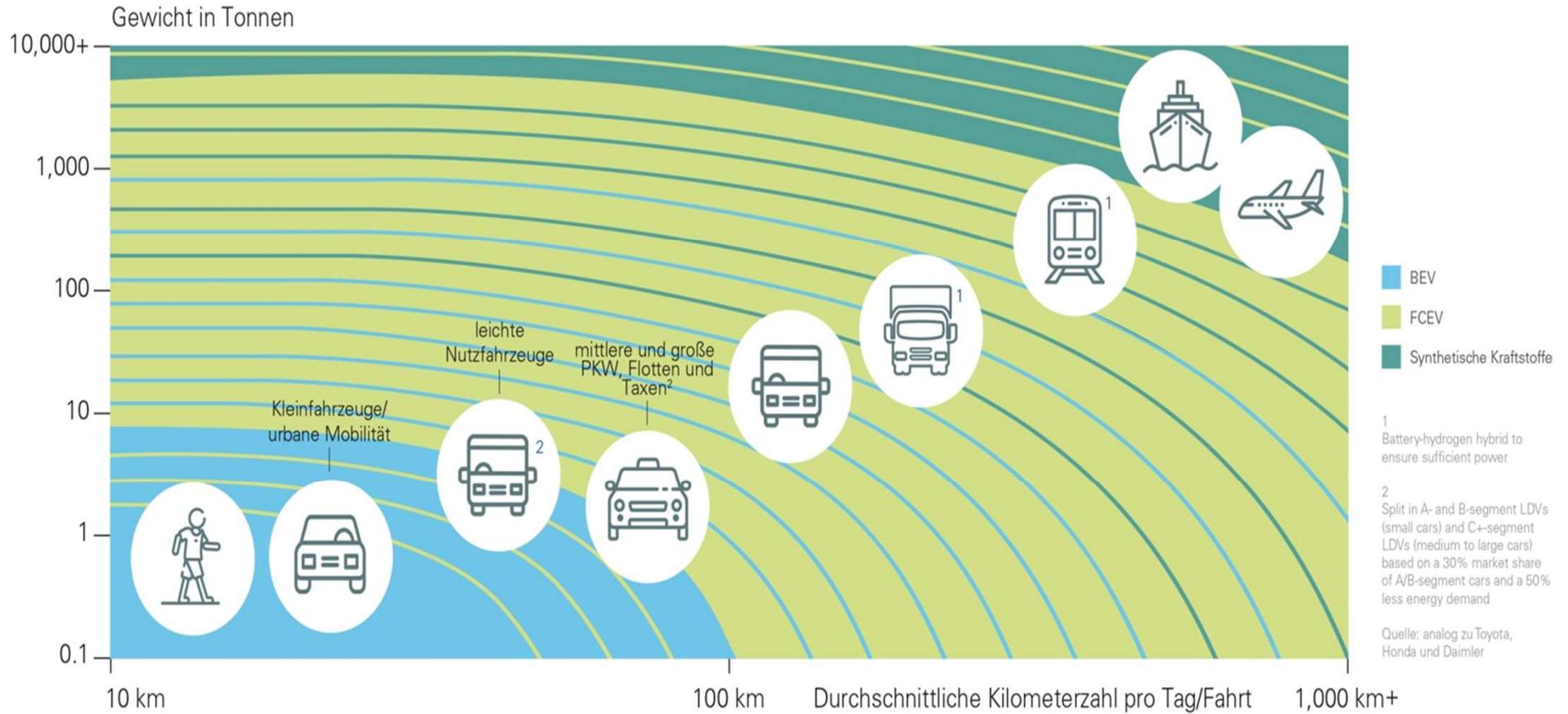
Brennstoffzelle



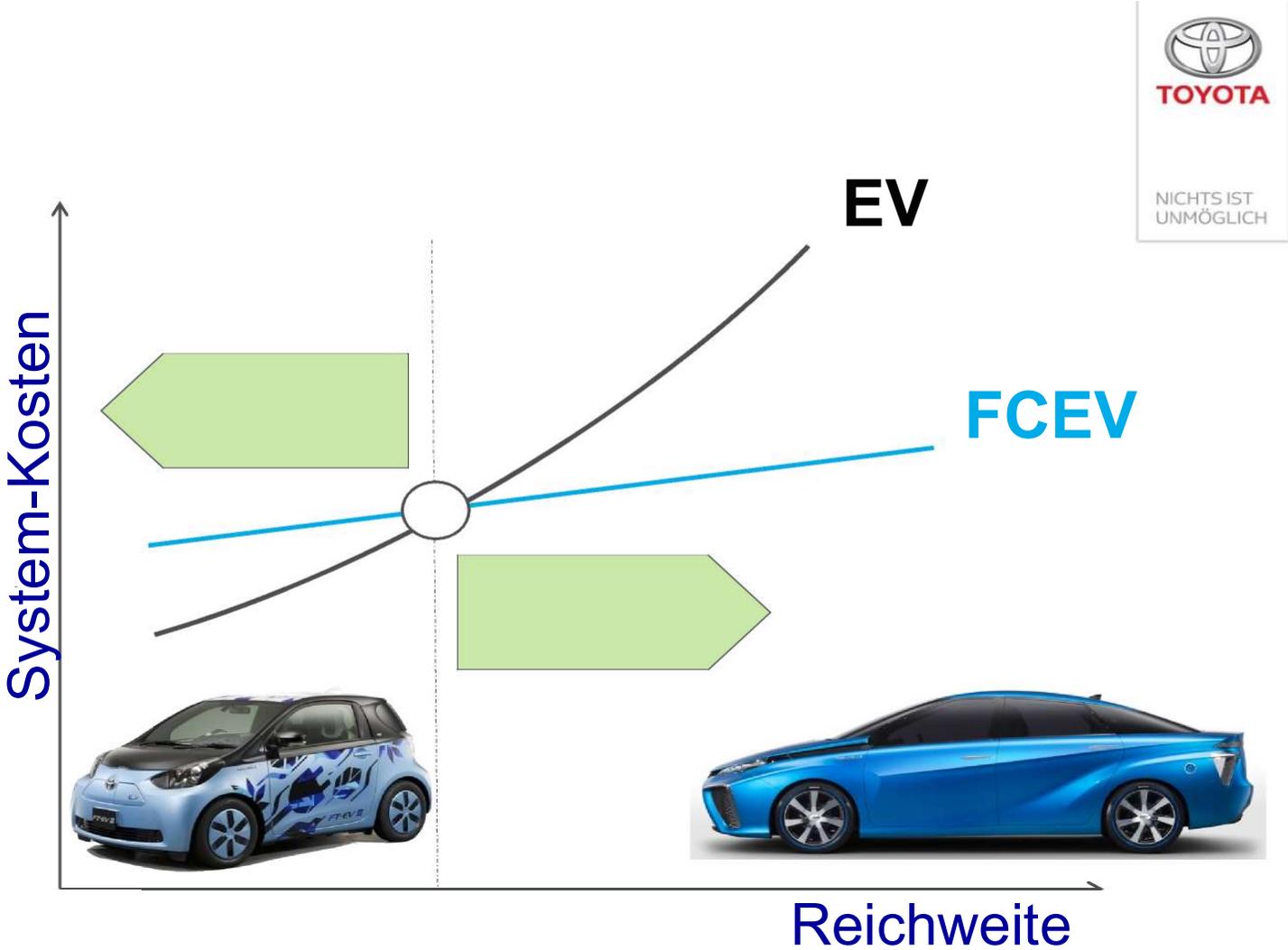
Marktsegmente für Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeuge



Vielfalt der Antriebsarten

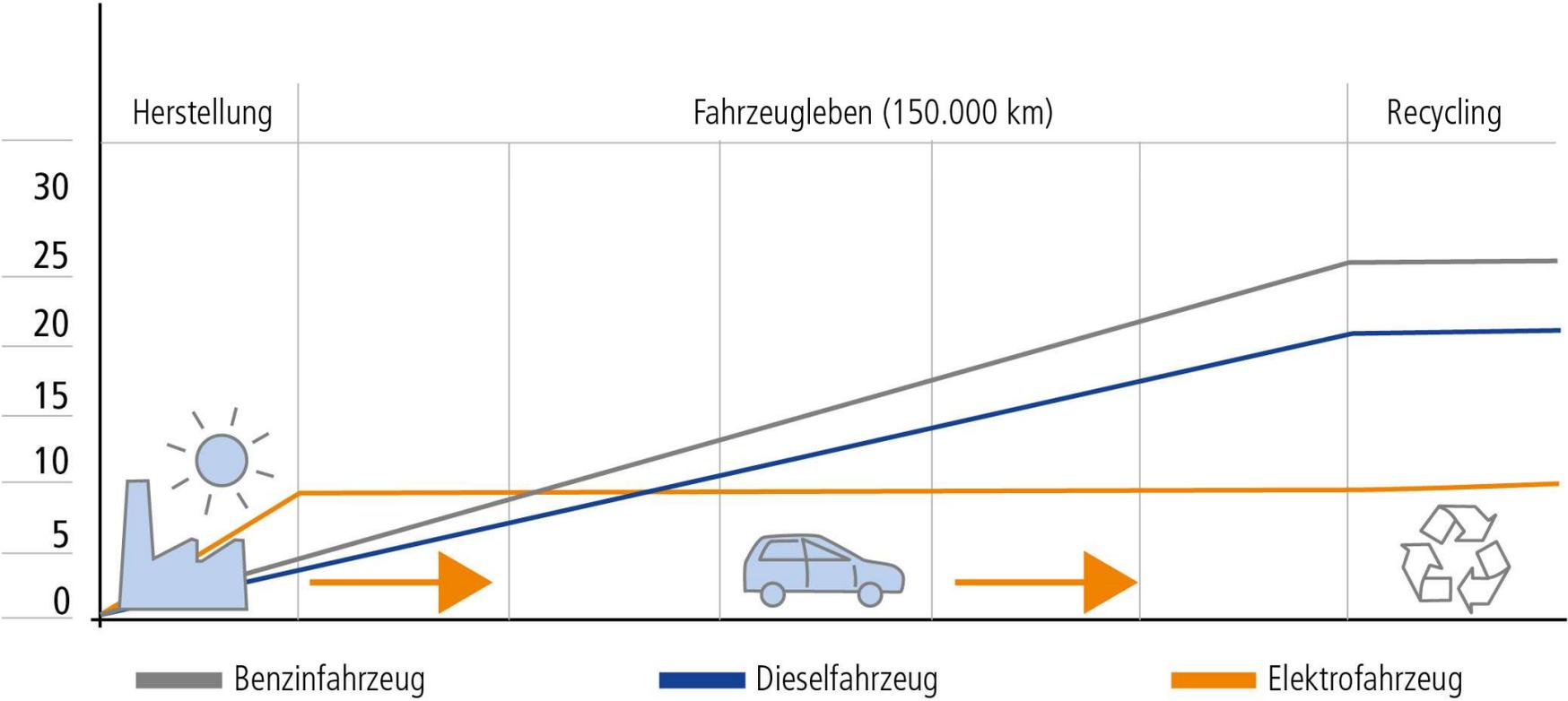


Vergleich der Systemkosten Batterie-Fahrzeug ↔ H₂/BZ-Fahrzeug



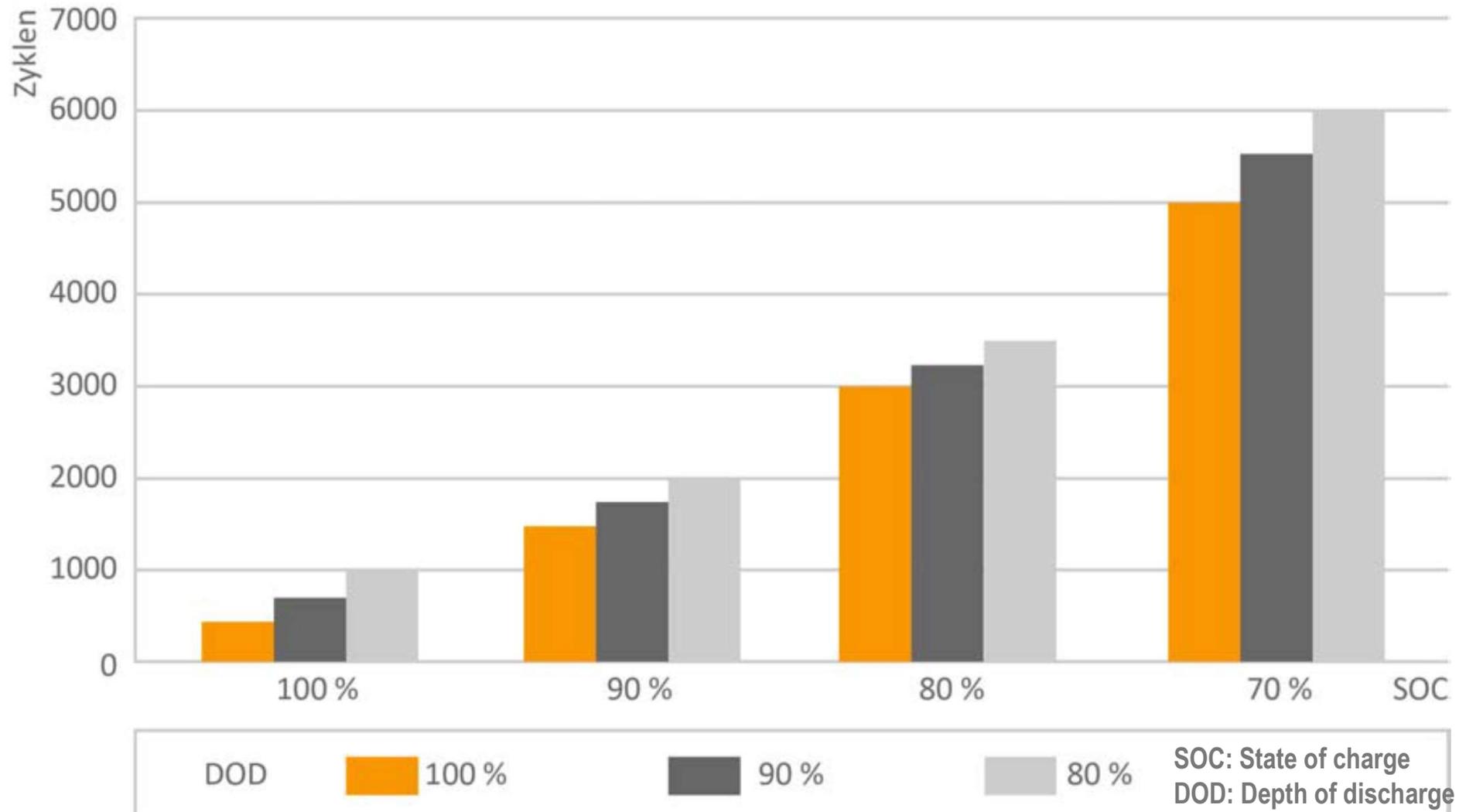
Vergleich CO₂-Emissionen

CO₂ eq über gesamten Lebenszyklus in Tonnen



Quelle: Kölch TAE-Sem „e-mob“ 2015

Batterie Lebensdauer



Wasserstoff-Busse



Phileas-Bus: HyCologne

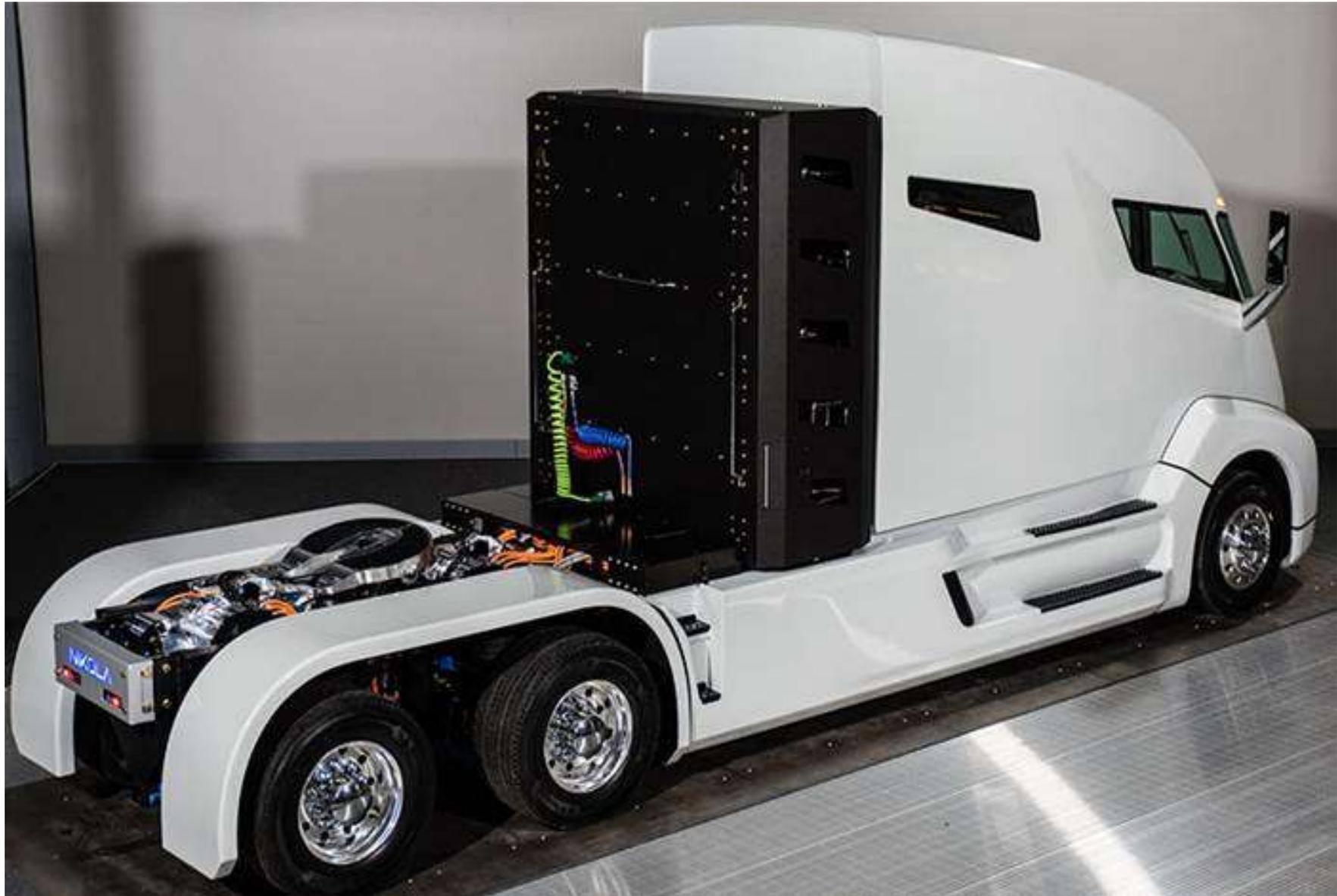


Daimler-Bus: Hamburg

Bisherige Ergebnisse:

- 47 Busse verschiedener Hersteller im täglichen Flottenbetrieb in geförderten Projekten (CUTE, HyFleet-CUTE, etc)
- Insgesamt ca. 2,6 Mio km Fahrleistung
- Diesel-Einsparung: ca. 1Mio Liter
- CO₂-Einsparung: ca. 3300 t

Wasserstoff-LKW „Nicola“ (USA)





Geplante Markteinführung:
ab 2019 1000 LKW's in der Schweiz

H₂/BZ -Lkw

Gesamtgewicht	18 Tonnen (mit Hänger: 34 t)
Gesamtlänge	9,745 m
Gesamtbreite	2,550 m
Gesamthöhe	3,730 m
Radstand	5,130 m
Reichweite	ca. 400 km
Tankzeit (Wasserstoff)	7 Min.
Tankvolumen / Druck	32.86 kgH₂ / 350 bar
Leistung der Brennstoffzellen	190 kW (2 x 95 kW)
Antriebsleistung	350 kW / 3'400 Nm (471 PS / 346 kpm)
Sicherheitssysteme	FCA, LDW **

** FCA: Frontal-Kollisions-Vermeidungs-Assistent, LDW: Spurhalte-Assistent

Schwere LKW mit H₂/BZ-Antrieb



- Esoro Truck
- In Betrieb bei Coop Schweiz seit 11/16
- Reichweite 400 km

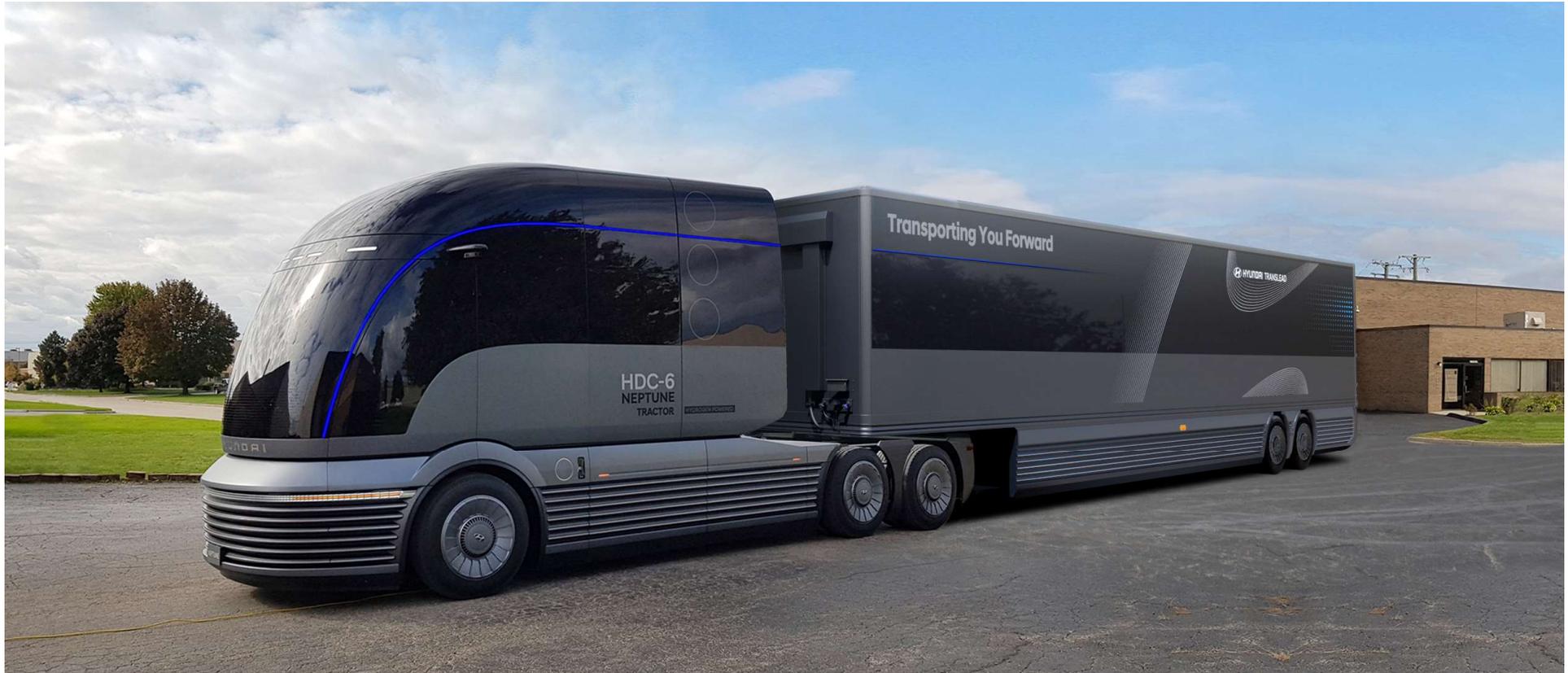


- Nikola Two
- Reichweite 750-1.200 km
- 240 kW Brennstoffzelle
- 8.000 Vorbestellungen (800 Anheuser-Busch)
- Europavariante Nikola Tre



- Hyundai Truck
- Reichweite 400 km
- 190 kW Brennstoffzelle
- 1.000 Fahrzeuge ab 2019 für die Schweiz

LKW-Entwicklung Hyundai



Faun Müllsammler



- Faun Brennstoffzellen-Müllsammler
- Energiebereitstellung für Antrieb und Presse
- Erfüllung der Nutzlastanforderung von 10 to
- Prototypen im März, Verkauf ab Ende 2019
- Kehrmaschine in Vorentwicklung, Test im Herbst 2019

Krankenwagen von TOYOTA, März 2021



Wasserstoff

- macht Erneuerbare Energien mobil,
- gibt Elektrofahrzeugen große Reichweiten
- und macht die Mobilität CO₂-frei.

Evaluation of H₂- Trailer



Trailer for
**compressed hydrogen in cylinders
(compound material)**

Total weight:

40 t

Hydrogen:

530 kg

Trailer for
liquefied hydrogen



Total weight:

< 40 t

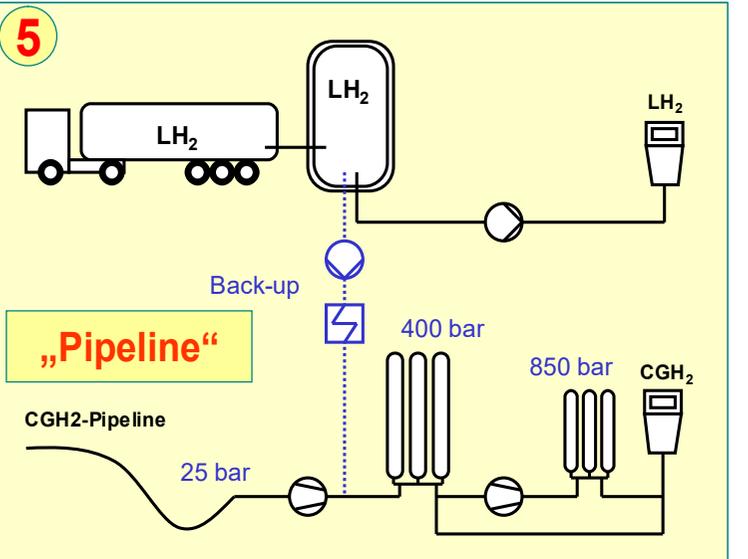
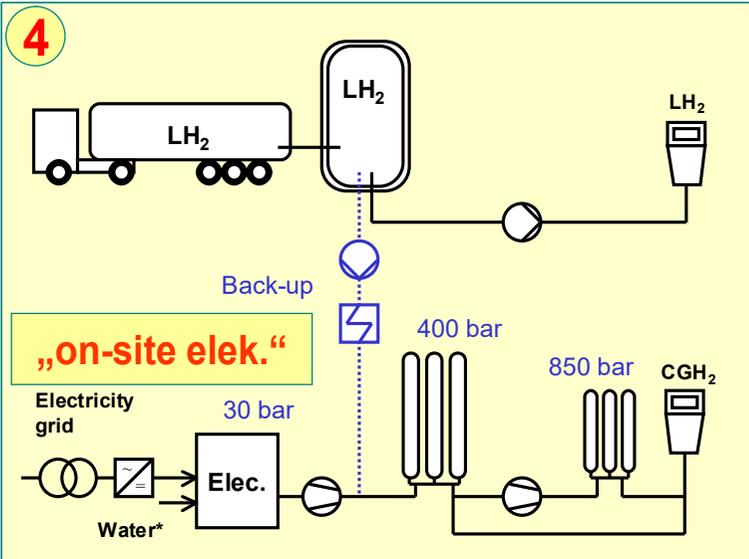
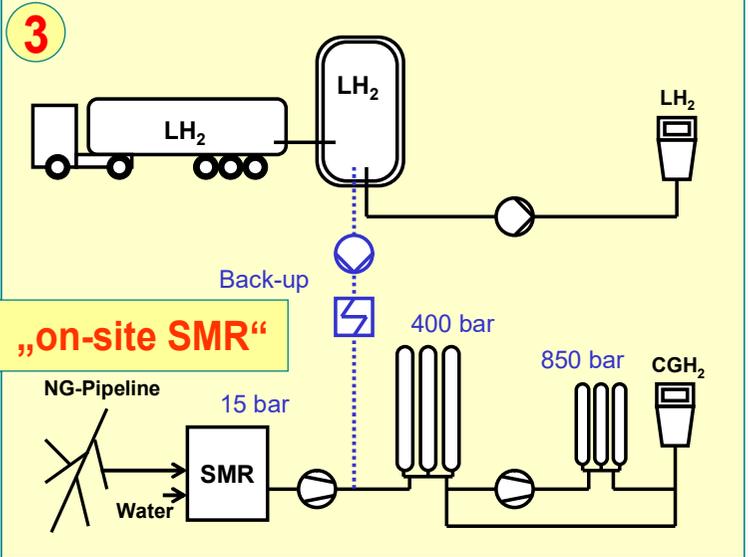
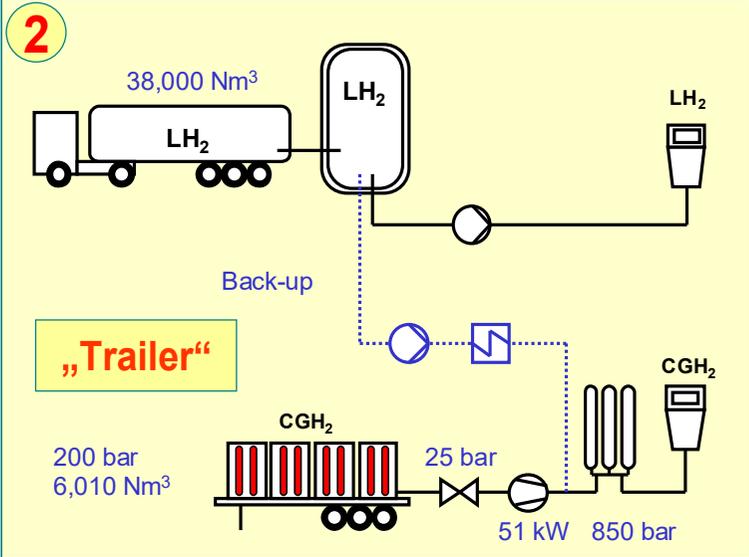
Hydrogen:

3,370 kg

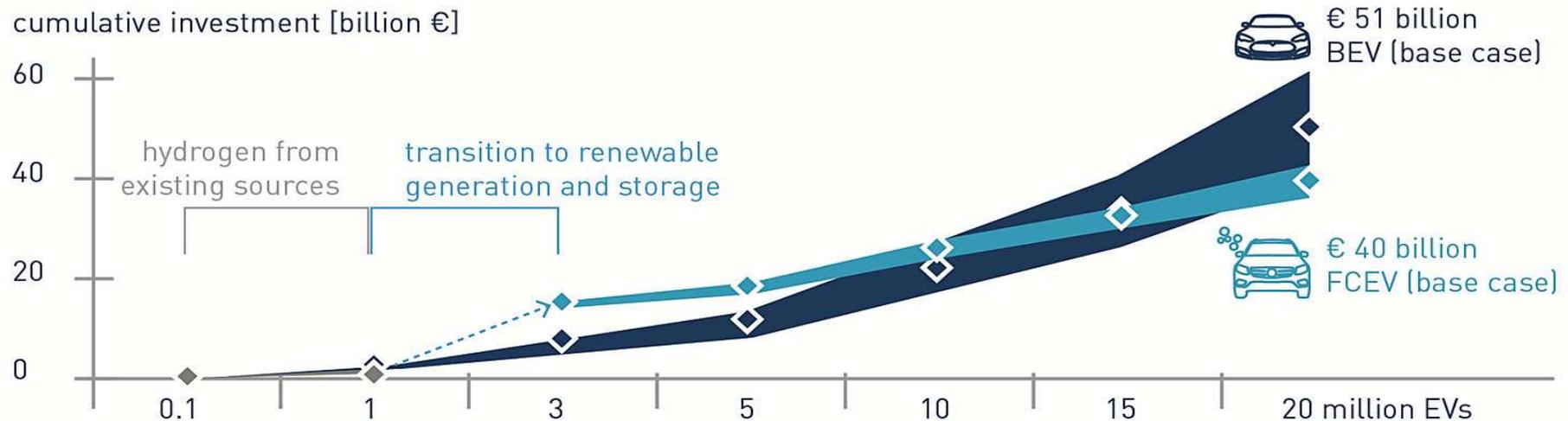


Source: Linde AG

Infrastruktur zur H₂-Versorgung



Comparison of Infrastructure Investments



- ▶ Cumulative investments are comparable during introductory and mass markets
- ▶ Future charge patterns unclear – greater uncertainty for charging infrastructure
- ▶ Hydrogen infrastructure with significant scaling effects

Wasserstoff und Brennstoffzelle in Flurförderfahrzeugen



Flurförderfahrzeuge mit H₂/FC- Antrieb



Technical details of forklifts (387-series) from Linde MH

Nominal Voltage:	80 V
Max. Continuous Power Output:	10 kW (13.41hp)
Hydrogen Capacity:	1.8 kg (3.97lb)
Hydrogen Nominal Pressure:	350bar (5076psi)
Refilling Time:	90 sec.
Hybrid Energy Storage Type:	Lithium Ion Batt.
Required Level of Hydrogen Purity:	5.0

H_2/BZ für den Schienenverkehr



Quelle: Uni Birmingham (~ 2008)



Quelle: Alstom (2017)

H₂/BZ für den Schienenverkehr



Der HYBARI von JR East [Quelle: Toyota]

Erste Tests: ~ März 2022



VL Series PEM Fuel Cell Powertrain [Quelle: Horizon]

Minen-Fahrzeug

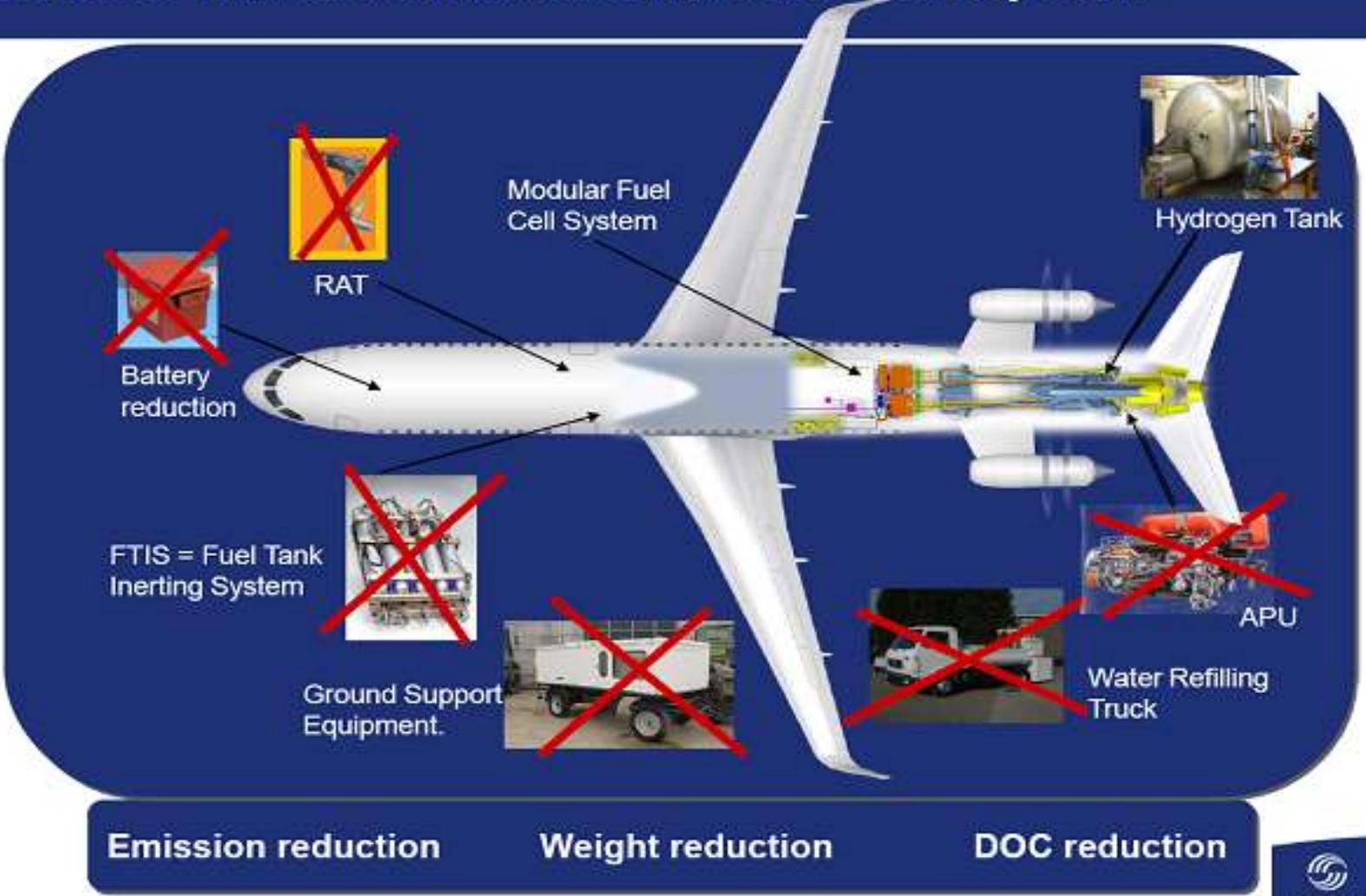


Quelle: Ballard

Minen-Truck von Weichai mit Ballard-Brennstoffzelle

H₂/FC- APU in Aircraft

Benefits with a Multifunctional Fuel Cell System



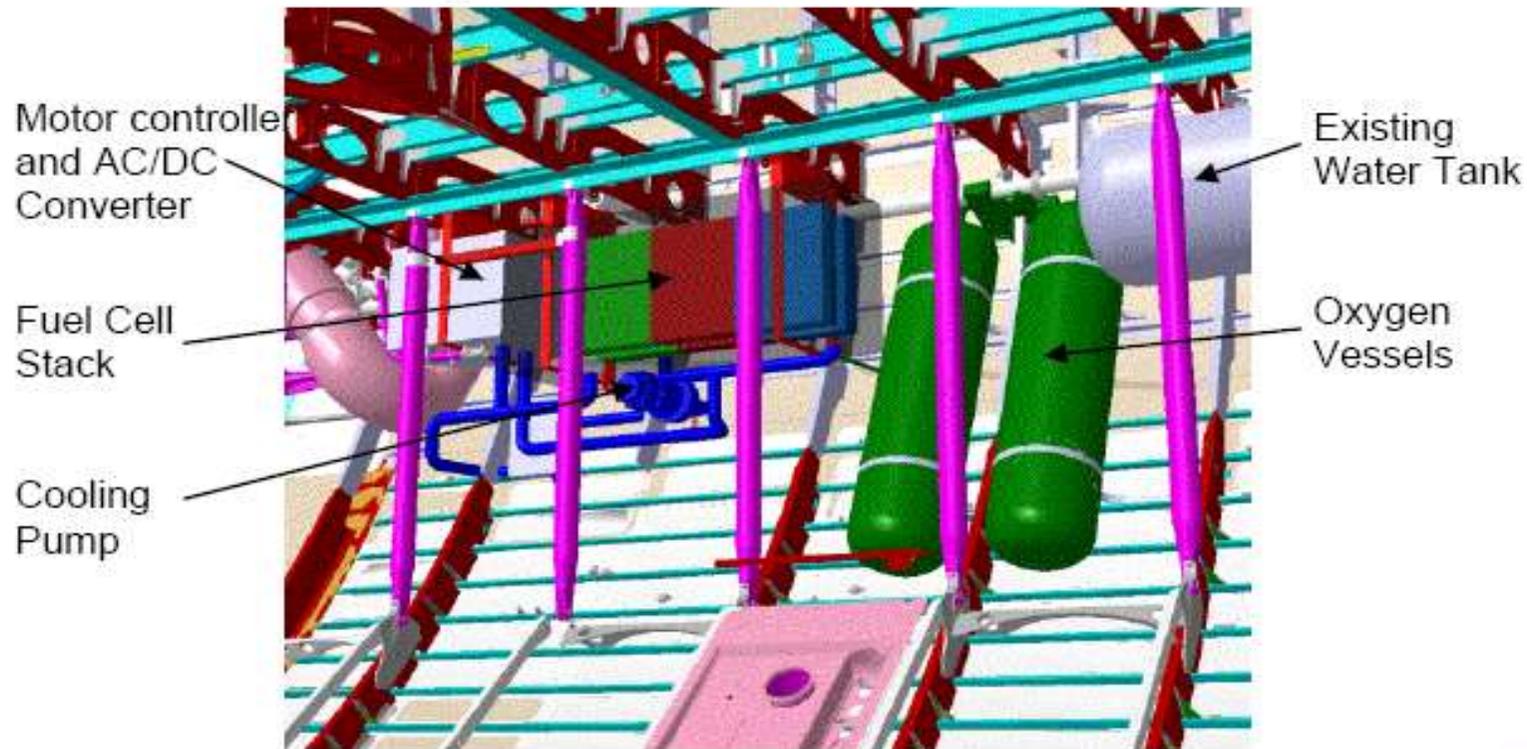
Source:
Airbus

Fuel cell technologies and H₂ can make Aircraft systems simpler

“Small” Demonstrator – for emergency power system

Step 2: Fuel Cell Emergency Power System

Installation Concept



View from aft cargo compartment into Aircraft lining

*H₂/BZ-Drohne für med. Zwecke
(Testphase USA)*



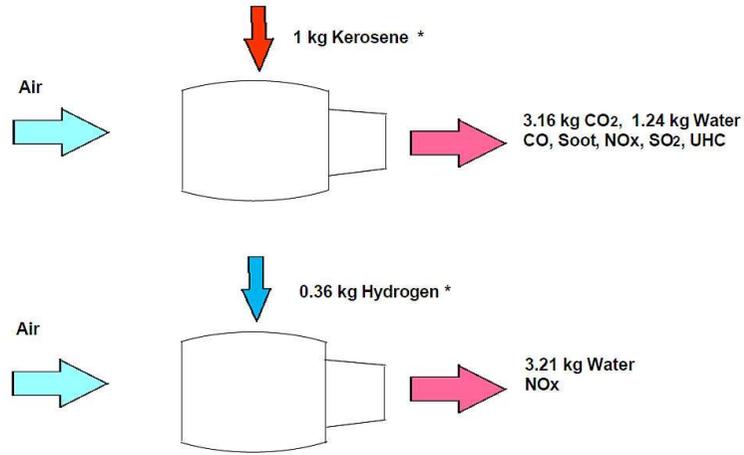
Hydrogen Airplanes at Boeing



Unmanned aircraft vehicle
„Phantom Eye“

No figure available

* Fuel masses of identical energy content



Prepared by DASA Airbus HK 8.12.1999



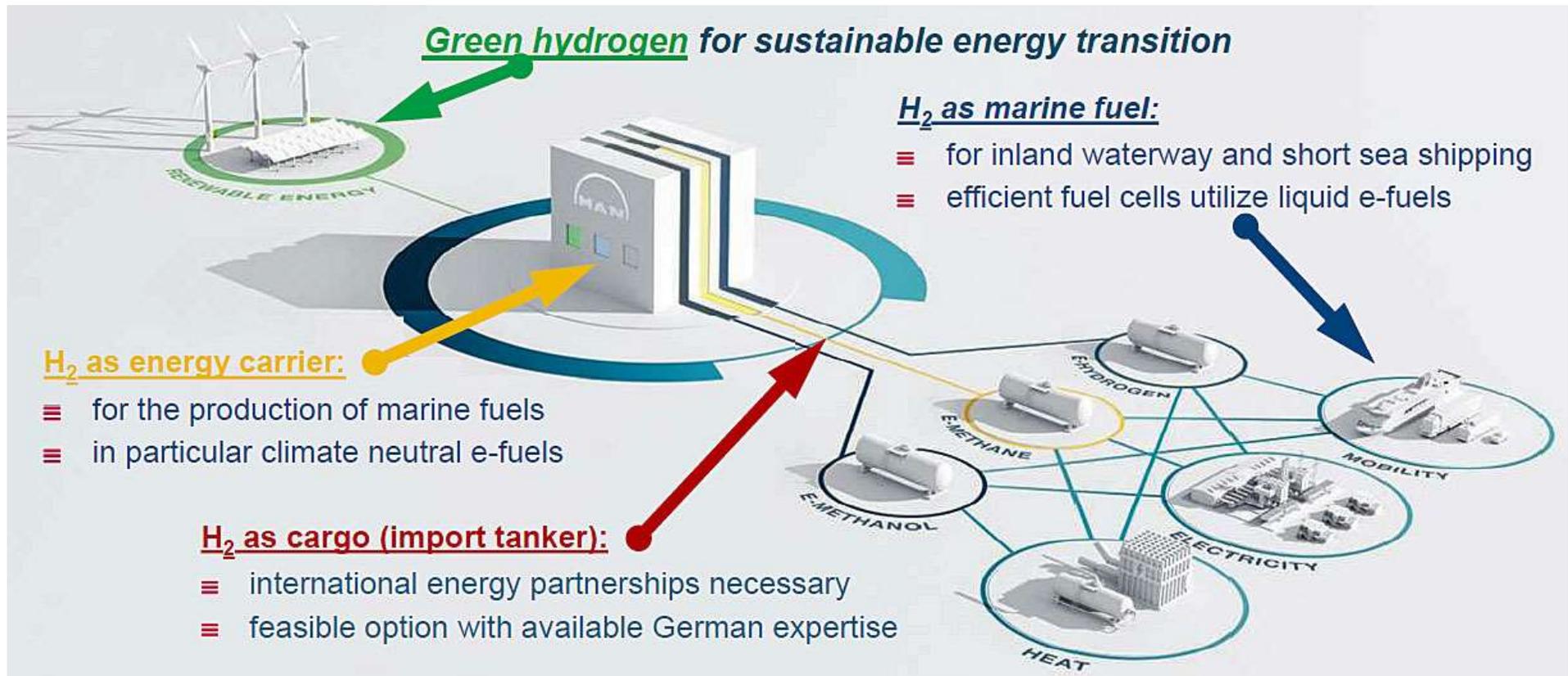
Studie „Cryoplane“, auf A320- Basis



Wasserstoff-Flugzeug H4; Start April 2017



Nationale Wasserstoff-Strategie - Maritime Anwendung -



Quelle: J.Kreissel,HySolutions

Arbeitsschiff zur Versorgung von Off-Shore Windanlagen



H2/BZ-Konzept für Groß-Schiffe



Greenhouse gas emissions for different alternative vehicle scenarios

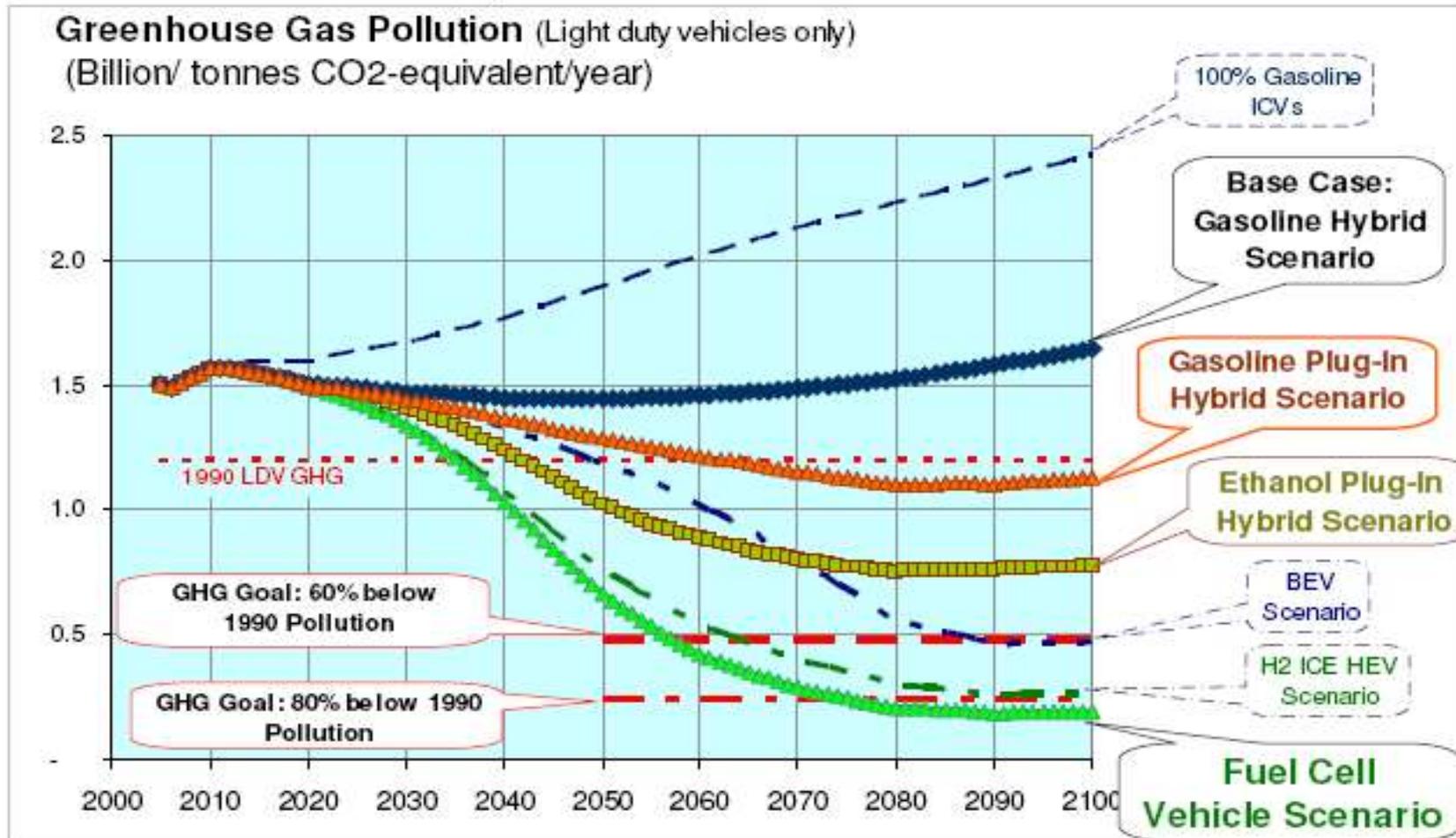
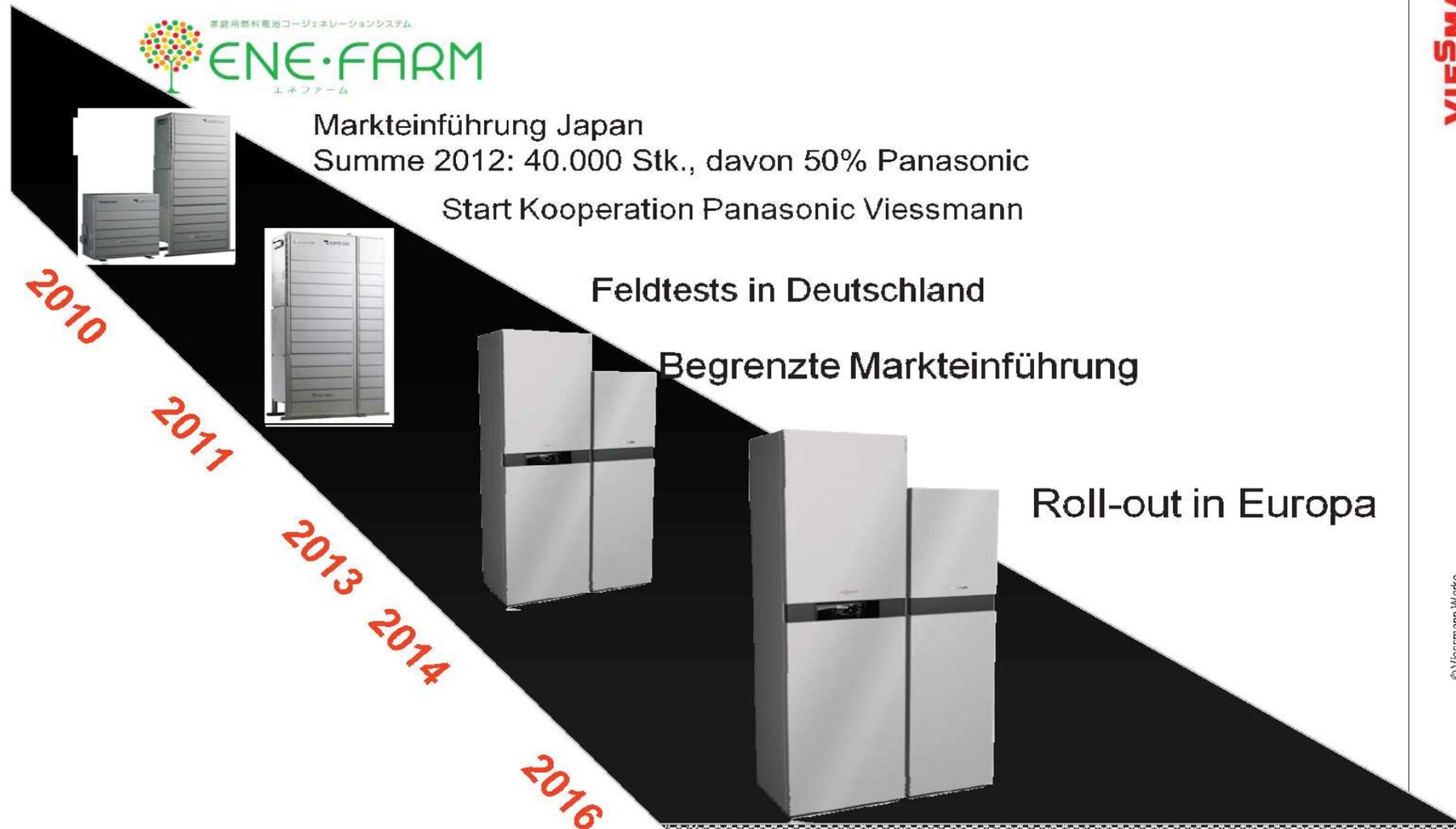


Figure 1. Projected greenhouse gases for different alternative vehicle scenarios over the 21st century for the US light duty vehicle fleet, assuming that both the electrical grid and hydrogen production reduce their carbon footprints over time (BEV= battery electric vehicle; H2 ICE HEV = hydrogen internal combustion engine hybrid electric vehicle)

Brennstoffzelle in der Hausenergieversorgung

Die Markteinführung ist in Vorbereitung



1. Infrastruktur der Telekommunikation

- Notstromversorgung, BackUp-Power
- Dezentrale Stromversorgung



2. Kritische Infrastrukturen

- Telematik, Verkehrsleittechnik
- Tunnel, Bahnhöfe, Flughäfen
- Bergwerke, Pipelines
- Kliniken, Polizei, Katastrophenschutz
- Messtechnik, Umweltschutz

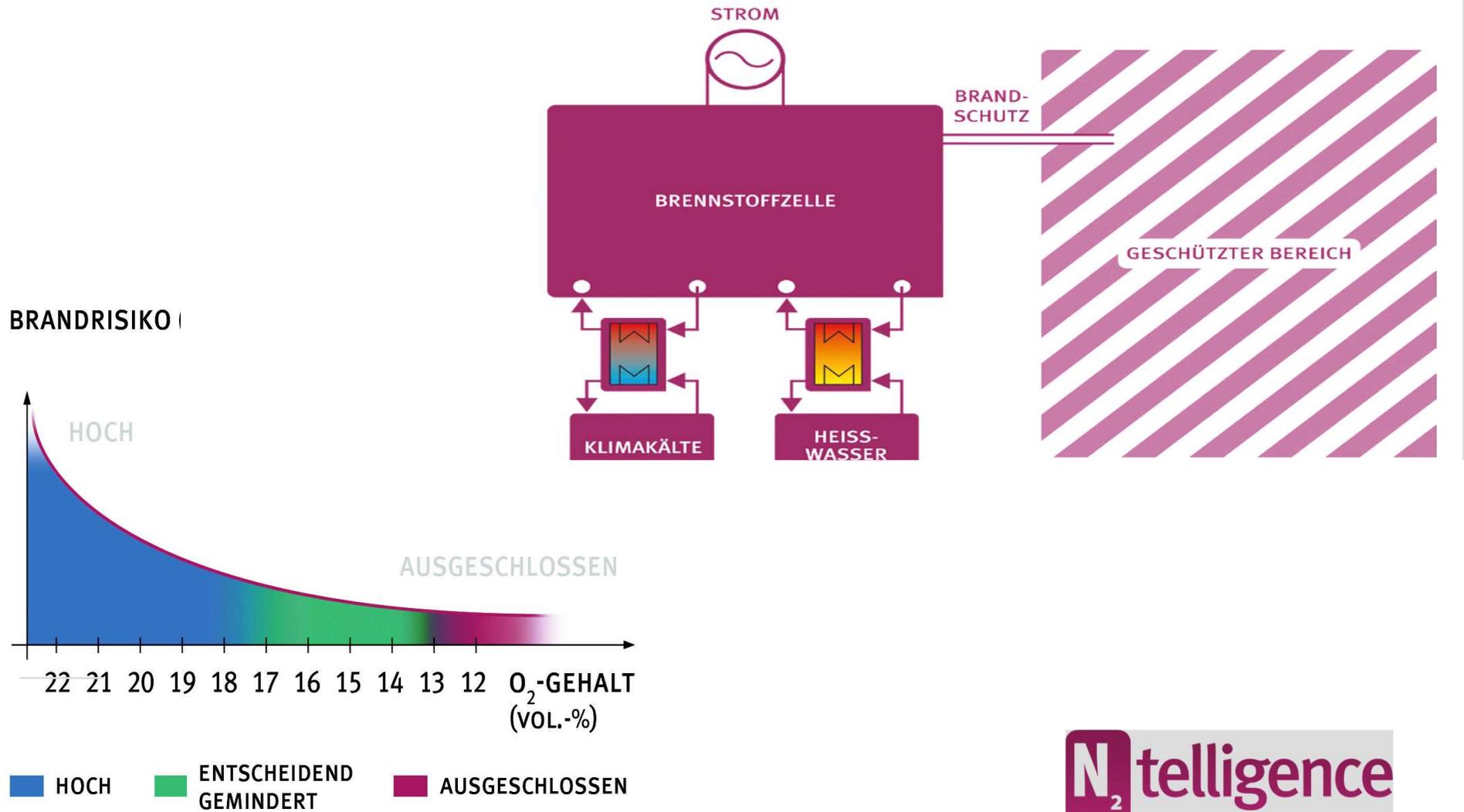


3. IT-Infrastrukturen

- BackUp-Power für kritische Systeme



H₂ für stationäre Anwendungen -Brennstoffzellen für den Brandschutz



O₂-arme Abluft zum Brandschutz

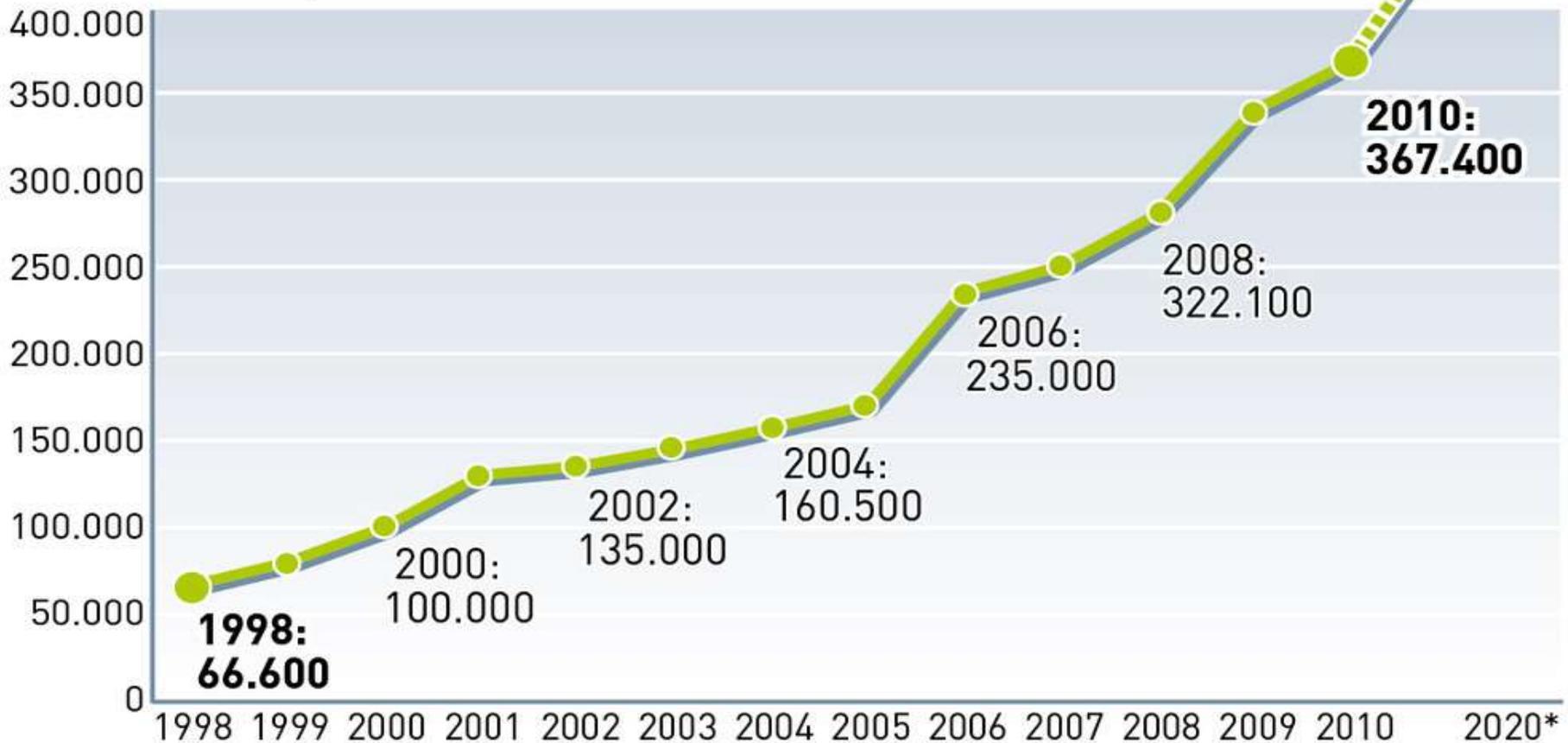
Wasserstoff

- wird in sehr vielen Gebieten einer zukünftigen Energieversorgung eine wesentliche Rolle spielen
- und dabei auch neue Technologien ermöglichen.

Entwicklung der Arbeitsplätze im Bereich Erneuerbare Energien

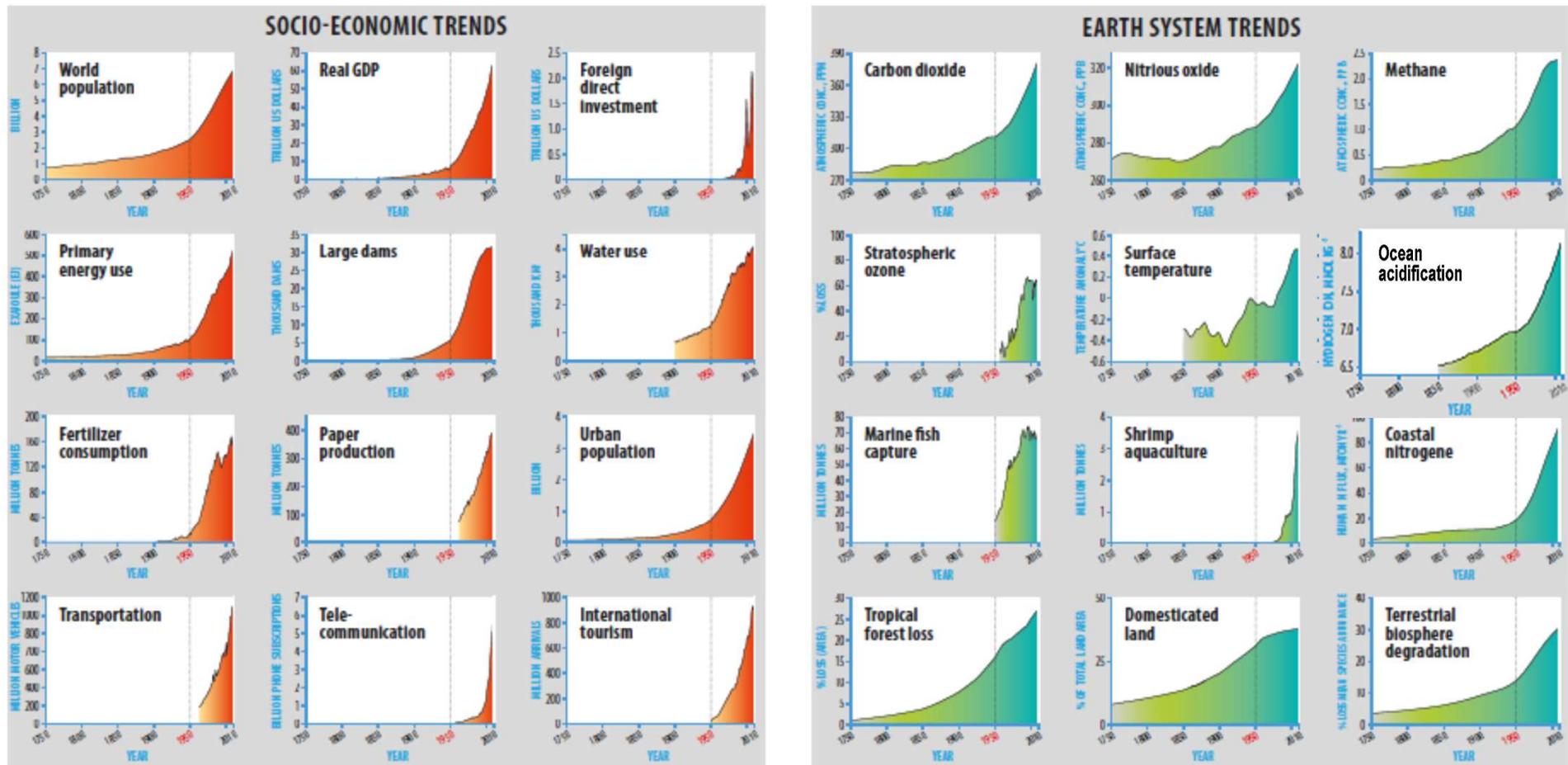
Die Zahl der Beschäftigten in der Branche steigt kontinuierlich.

Zahl der Arbeitsplätze



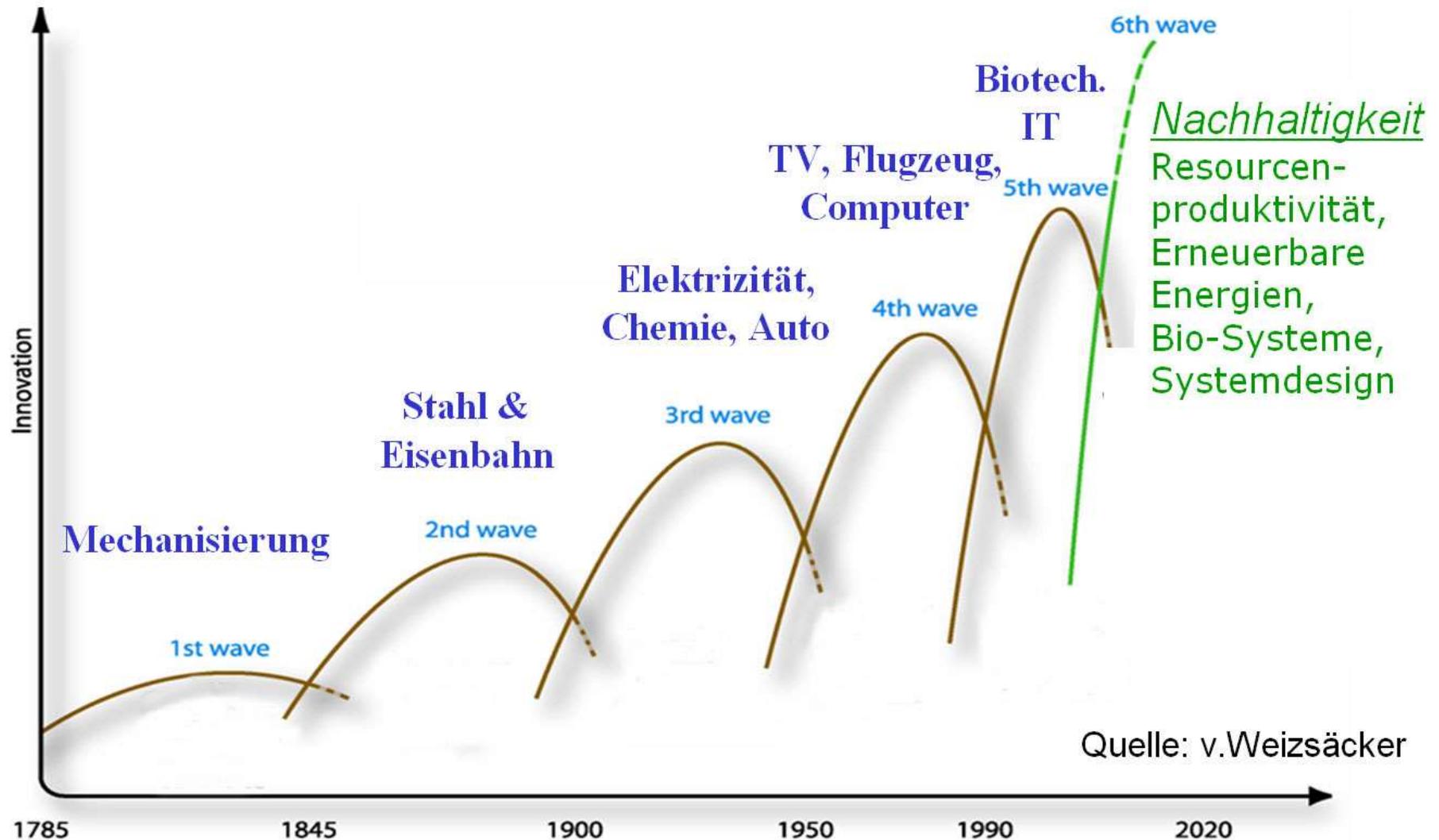
Quellen: BMU/AGEE-Stat, DLR/ZSW/DIW/GWS, UBA
Stand: 3/2011

Weltweite Entwicklungstrends

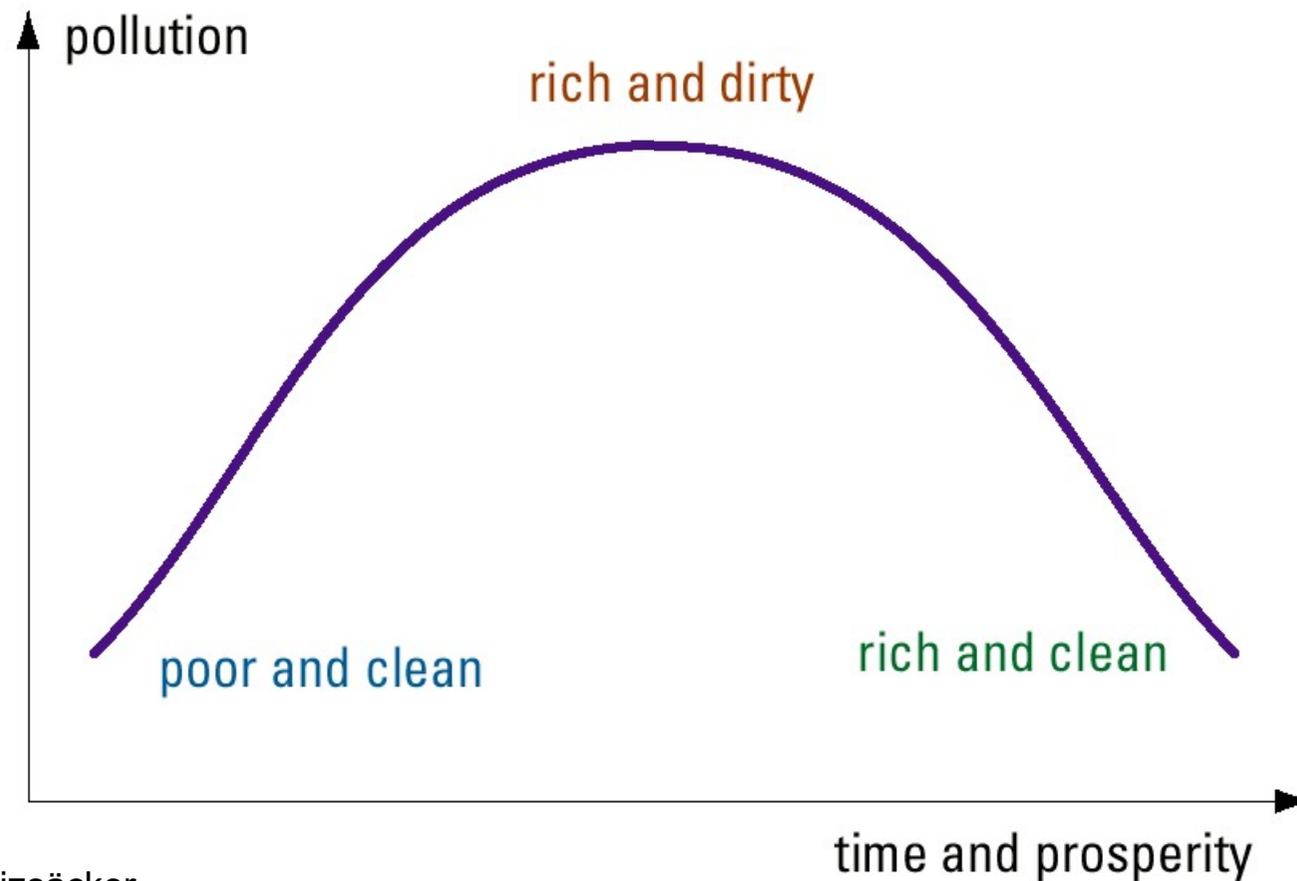


Quelle : Will Steffen, Paul. J. Crutzen, John R. McNeill. 2007. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? *Ambio* 36 614-621.

Kondratjef-Zyklen (nach Ch. Hargoves)



Why are so many people thinking we should first become rich and deal with climate problems later? It is the convenient paradigm of the Kuznets curve of pollution !



Nobel-Preis für Wirtschaft Die Gewinner 2018



William D. Nordhaus

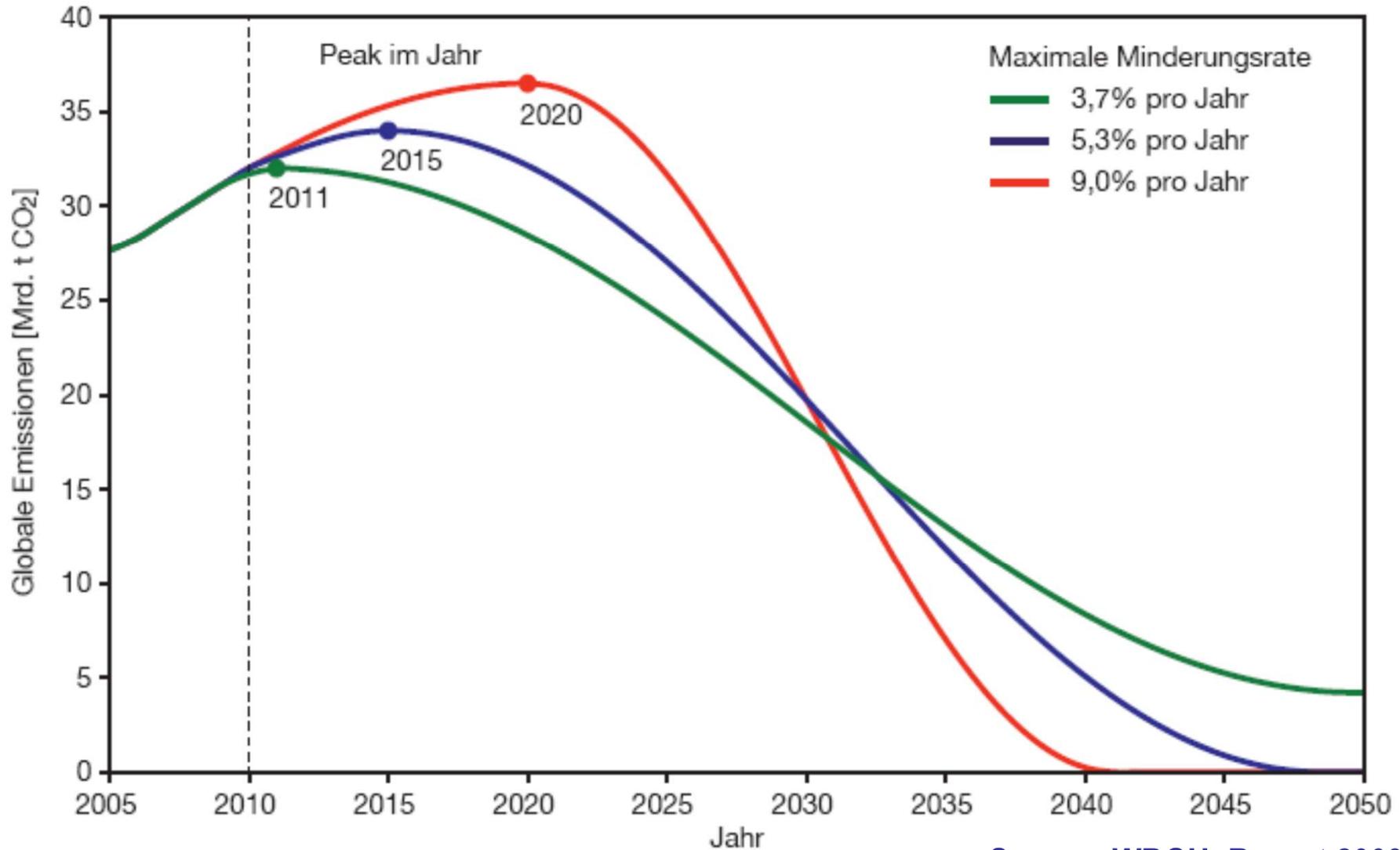
*Für die Integration des
Klimawandels in eine langfristige
makroökonomische Analyse*



Paul M. Romer

*Für die Integration technologischer
Innovationen in eine langfristige
makroökonomische Analyse*

*Exemples for Global CO₂-emission paths assuming
a limitation of 750Gt CO₂ for 2010-2050*



Source: WBGU- Report 2009

- *Die Gesetze der Natur und die Gesetze des Menschen (besonders die der völlig freien Marktwirtschaft) sind nicht im Einklang.*
- *Es ist nicht zu erwarten, dass sich die Gesetze der Natur an die des Menschen anpassen.*
- *Der Mensch kann nur überleben, wenn er sich in die Gesetze der Natur einfügt und das ökologische System insgesamt und in allen seinen Teilen nicht beeinträchtigt.*
- *Die Zukunft wird ethisch sein oder gar nicht.*

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Und besuchen Sie uns mal unter

www.dwv-info.de!