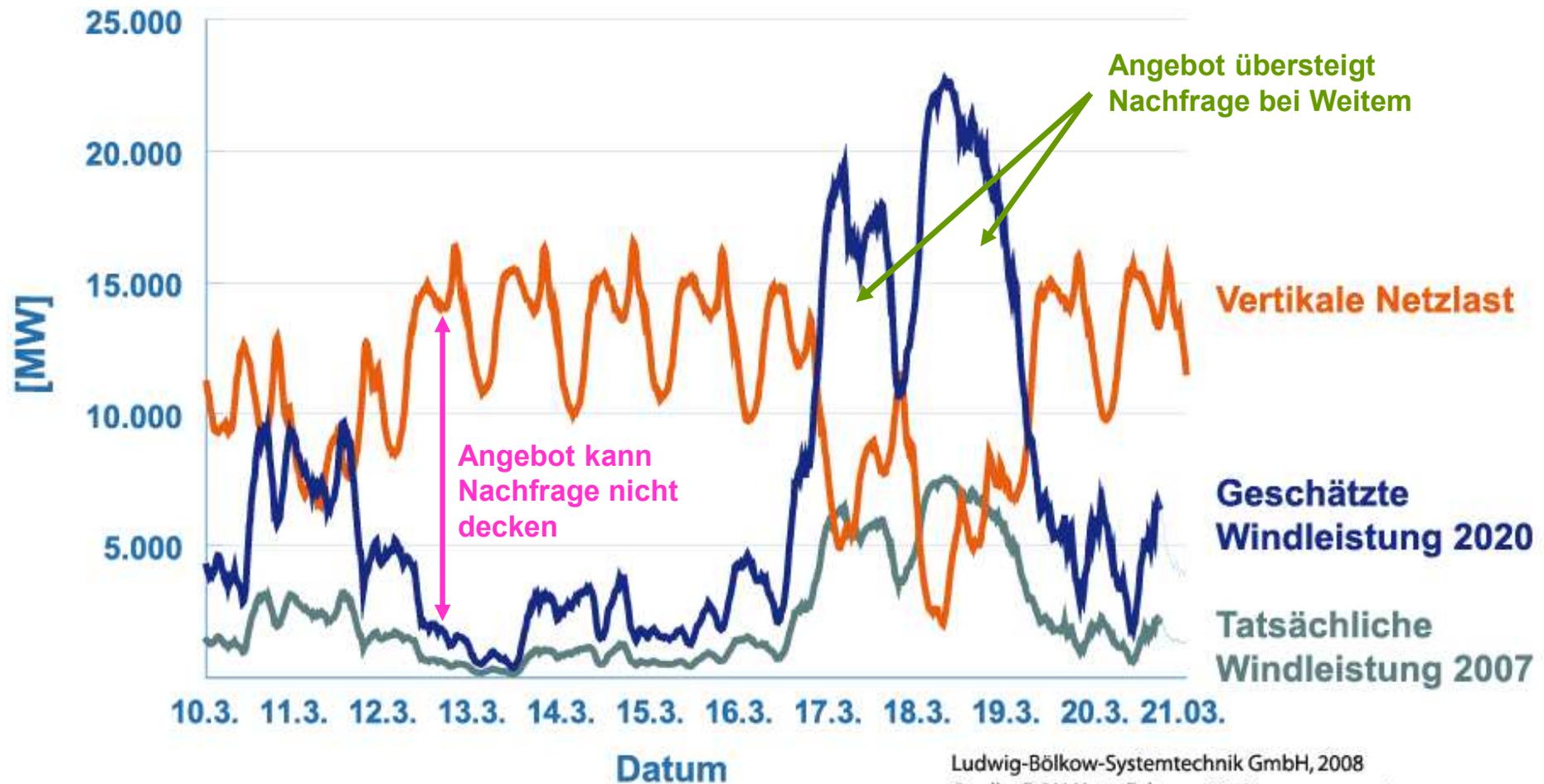




*Symposium Elektromobilität
im Rahmen der Florian Messe
Dresden 12. Oktober. 2023*

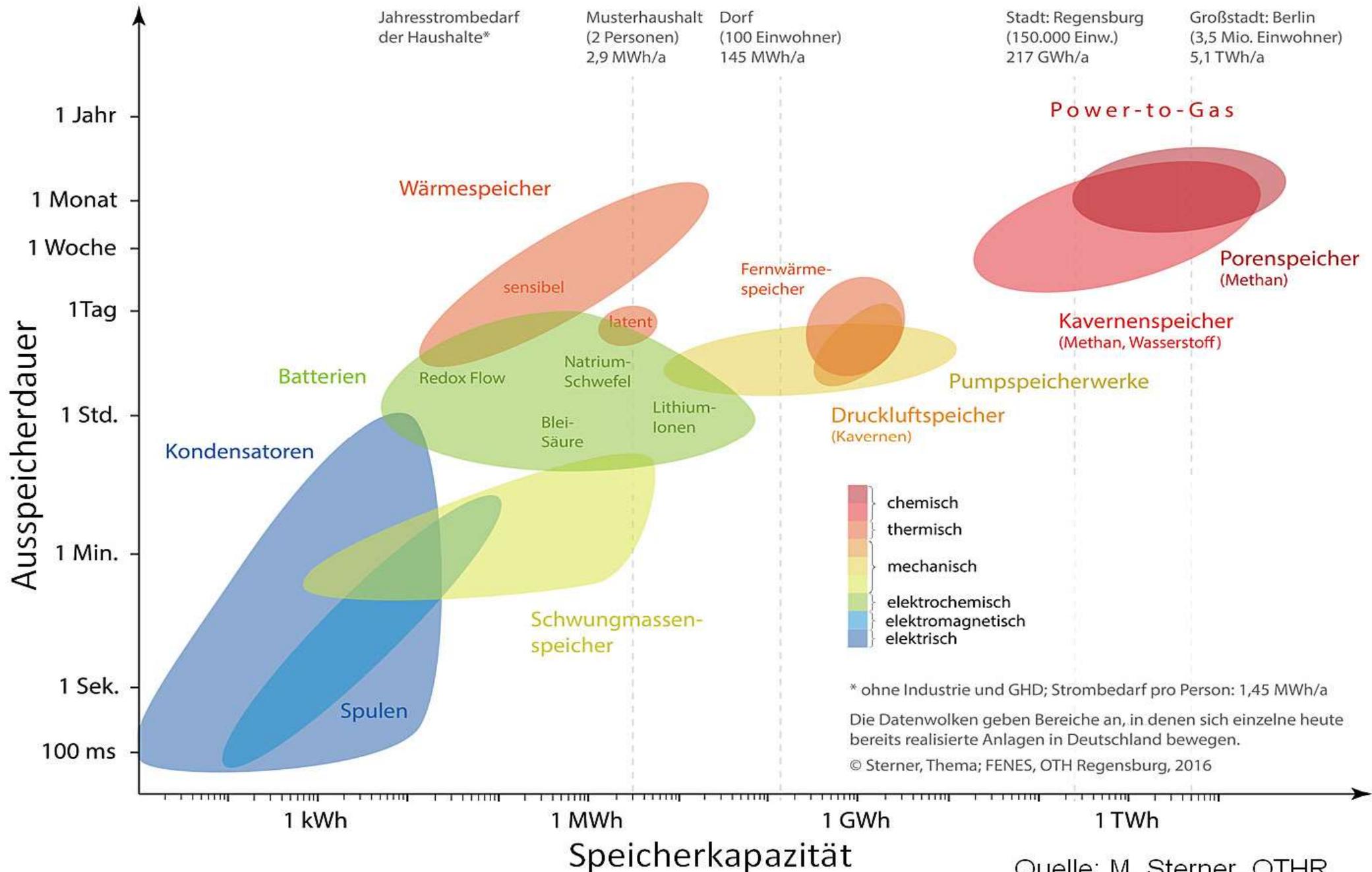
*„Wasserstoff–Technologie
in der Mobilität“*

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

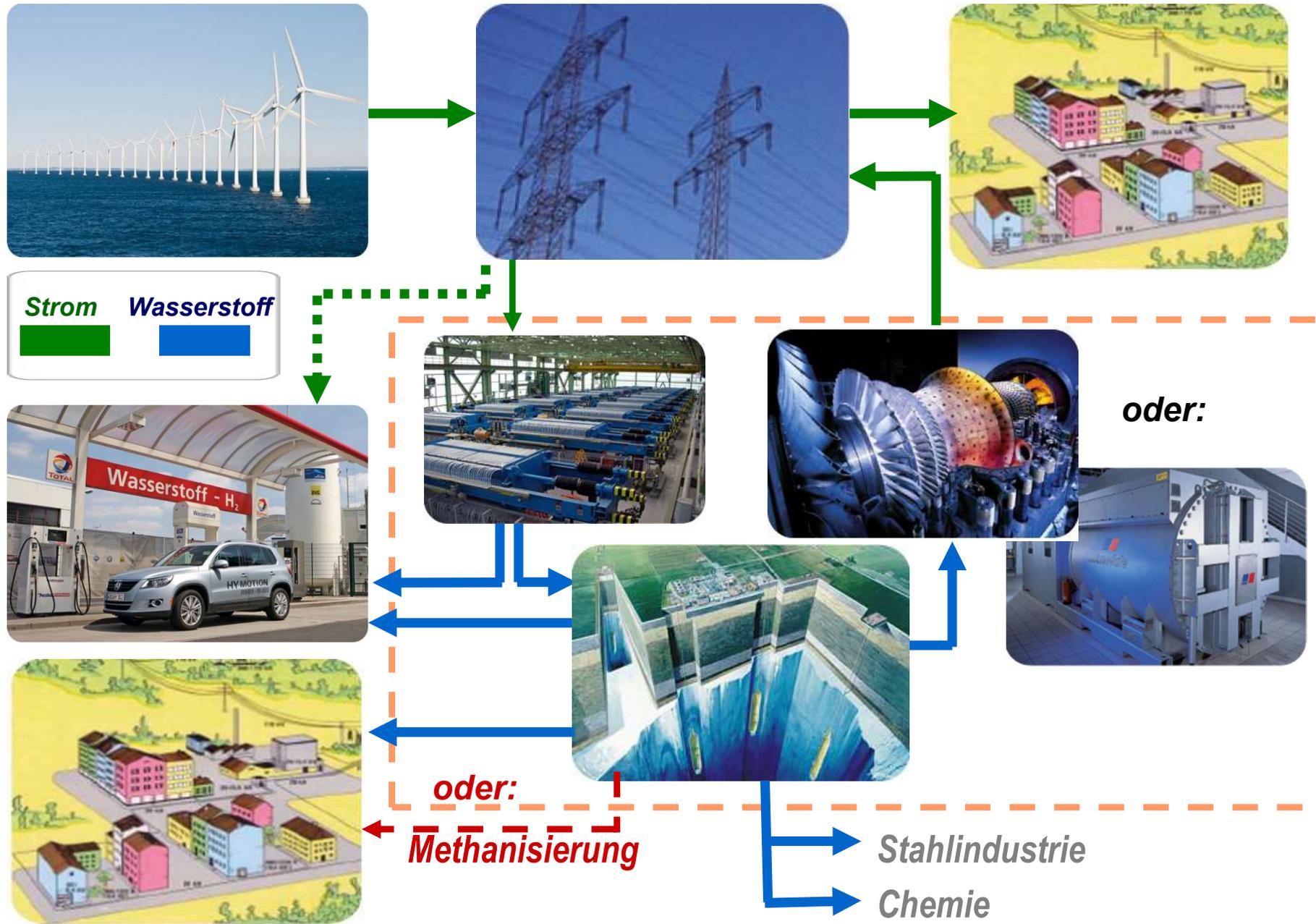


Energiespeicher

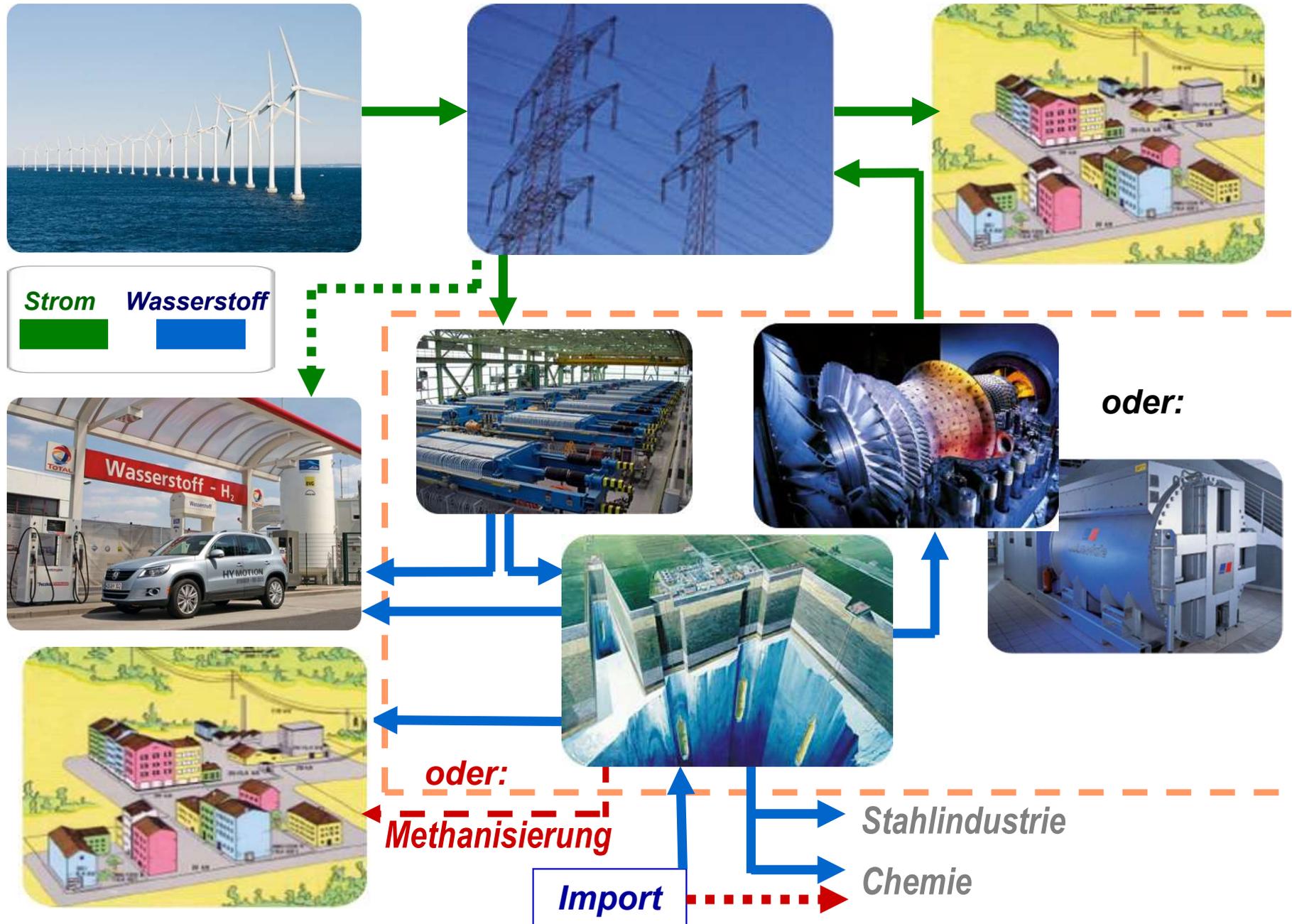
- obere Grenzen für energietechnische Anwendungen



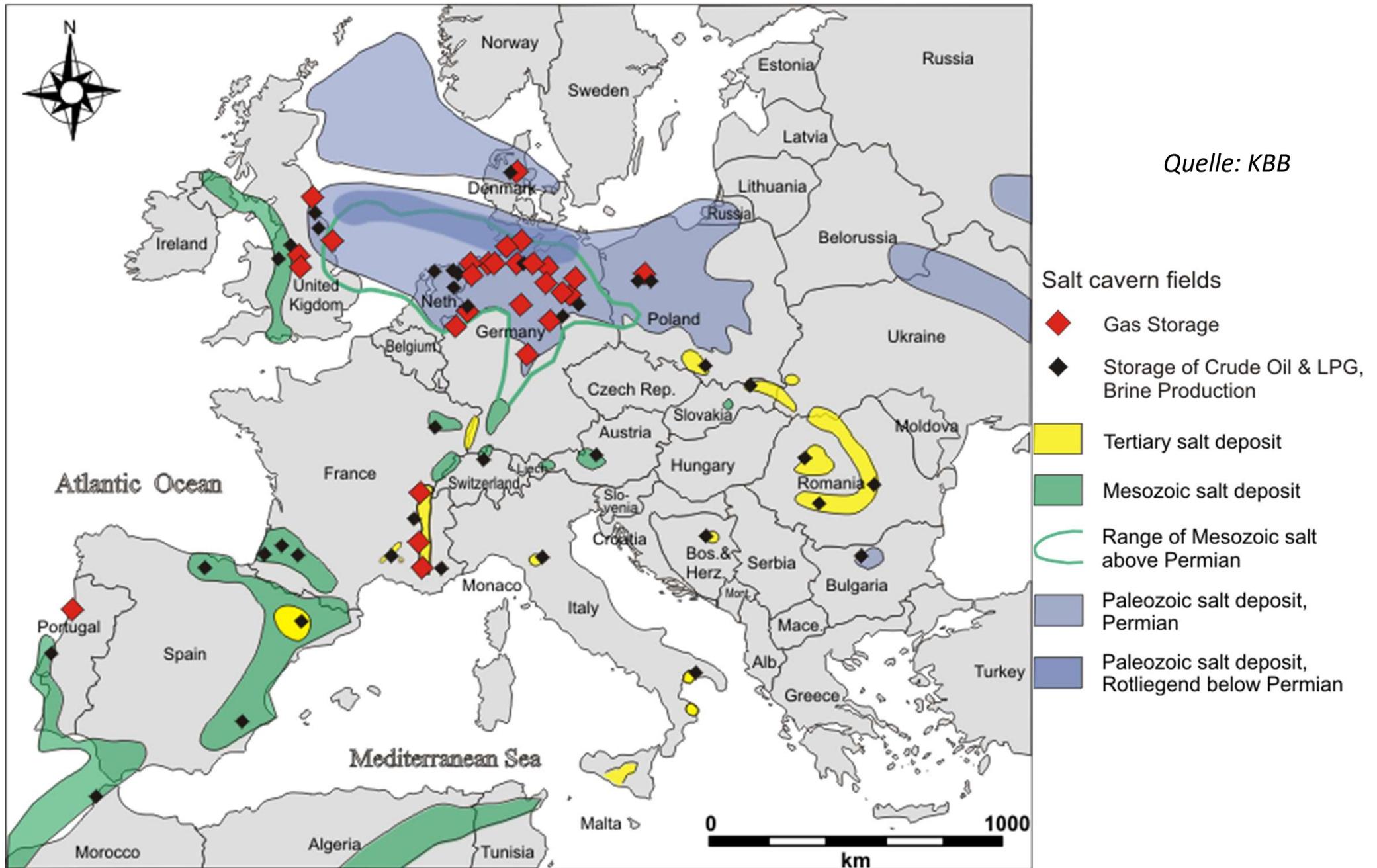
Verteilung Erneuerbarer Energien

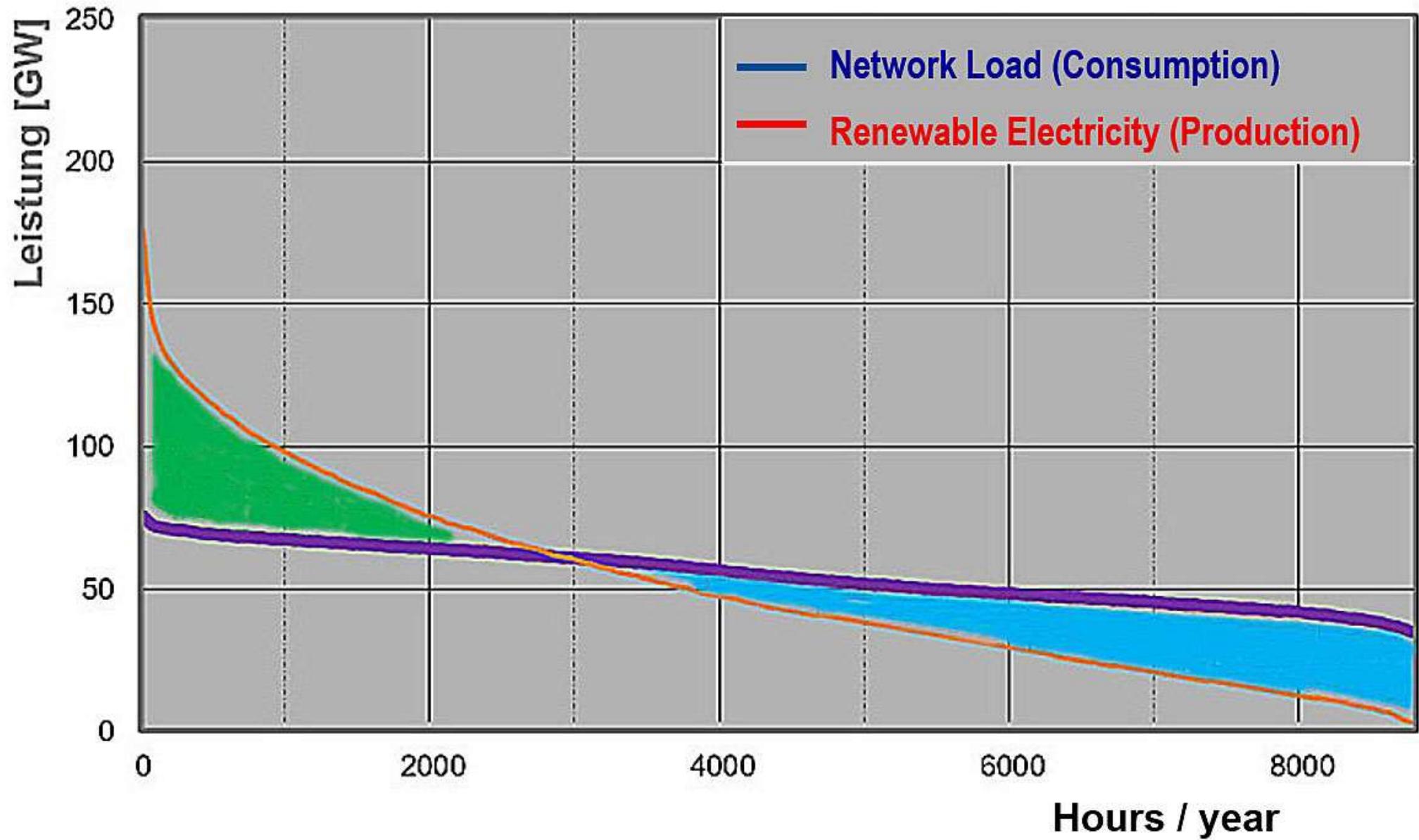


Verteilung Erneuerbarer Energien



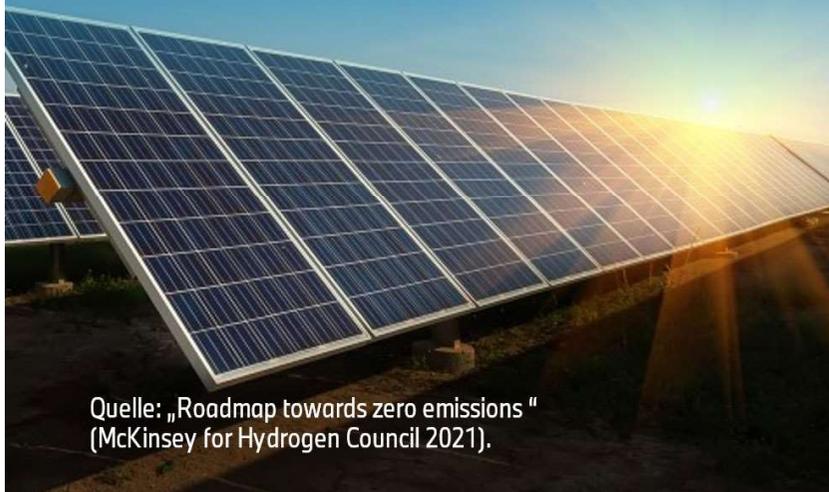
Potenzielle Standorte für H₂-Kavernen



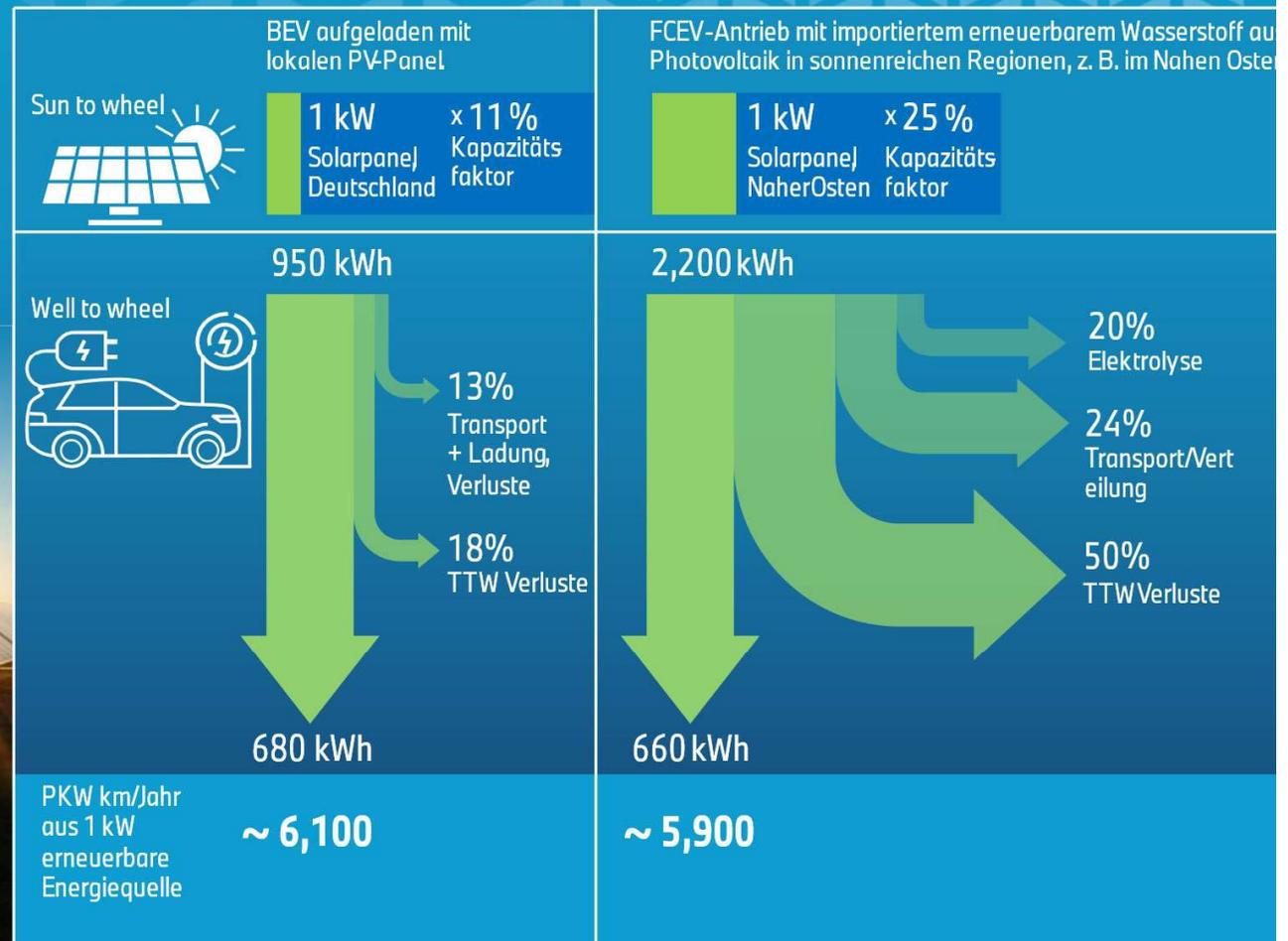


DAS ENERGIESYSTEM: "SUN-TO-WHEEL".

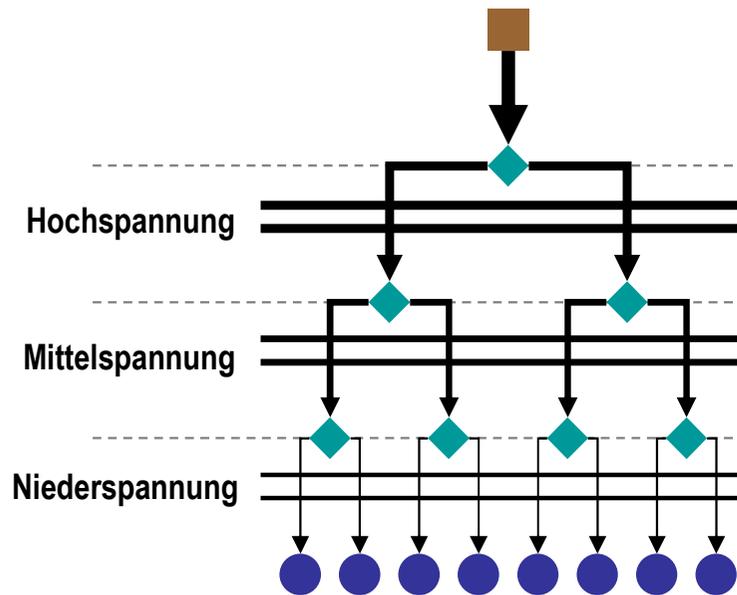
- BEVs sind effizienter als FCEVs bedingt durch die Umwandlungsverluste.
- Höherer Ertrag der erneuerbaren Energiegewinnung in bestimmten Regionen gleicht die Verluste aus .
- **Kosten und Durchführbarkeit sind wichtiger als die Effizienz.**



Quelle: „Roadmap towards zero emissions “
(McKinsey for Hydrogen Council 2021).

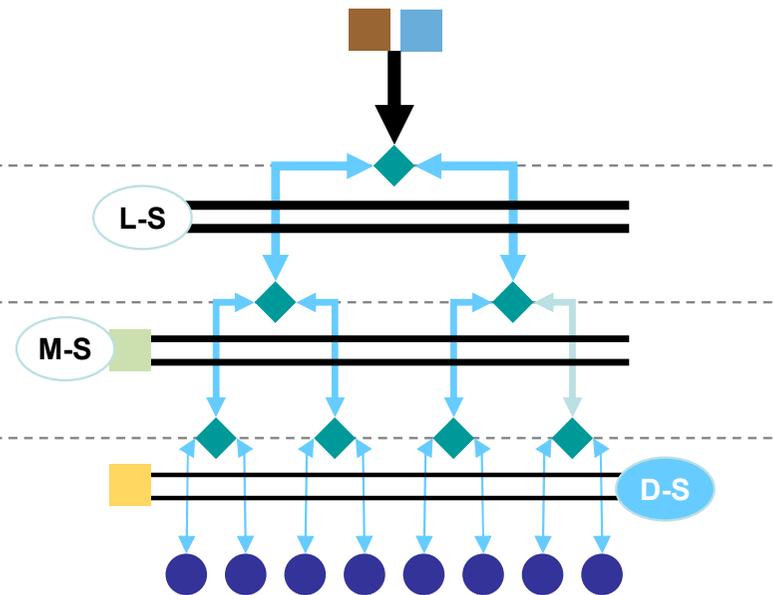


Erzeugung/Verteilung heute und morgen



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)



Wasserstoff-Speicher im Energiepark Mainz

*Unterirdische Röhrenspeicher
– heute für Erdgas genutzt*



Vergleich der Transportnetze

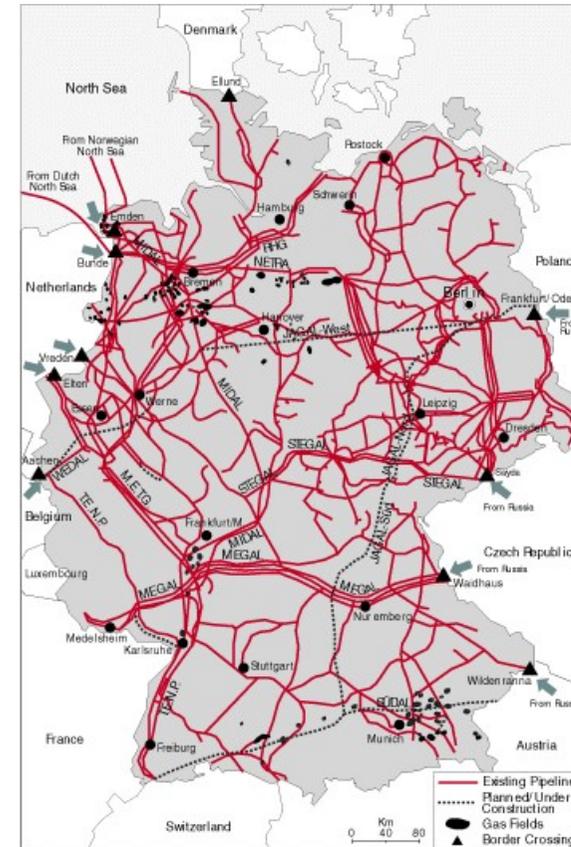
Elektrisches Netz



Verteilungskapazität :
Aktuell ca. 540 TWh
Speicherkapazität:
0,04 TWh_{el}

Quelle: DLR

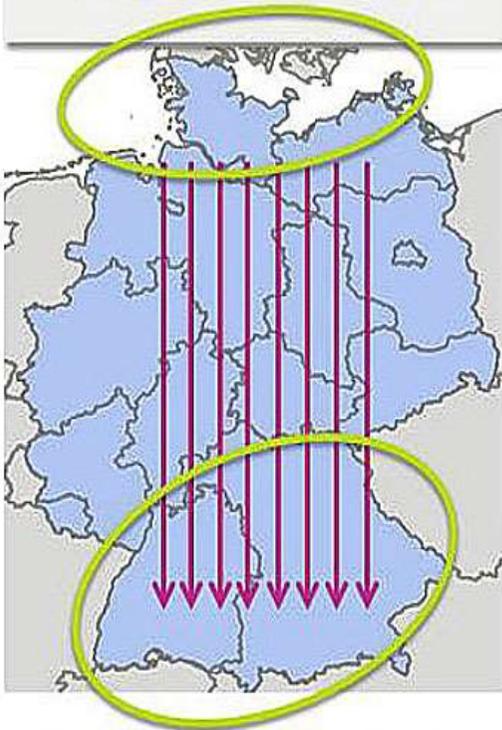
Gasnetz



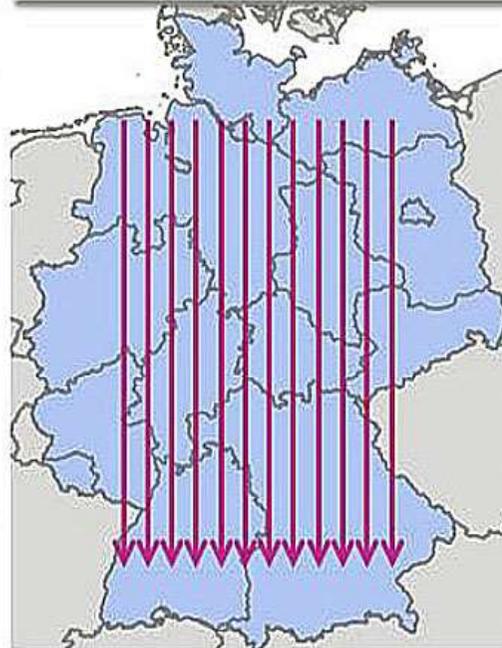
Verteilungskapazität :
Aktuell ca. 1000 TWh
Speicherkapazität:
ca. 220 TWh_{th} + Netz

H₂-Pipeline als HGÜ-Ersatz von Nord nach Süd

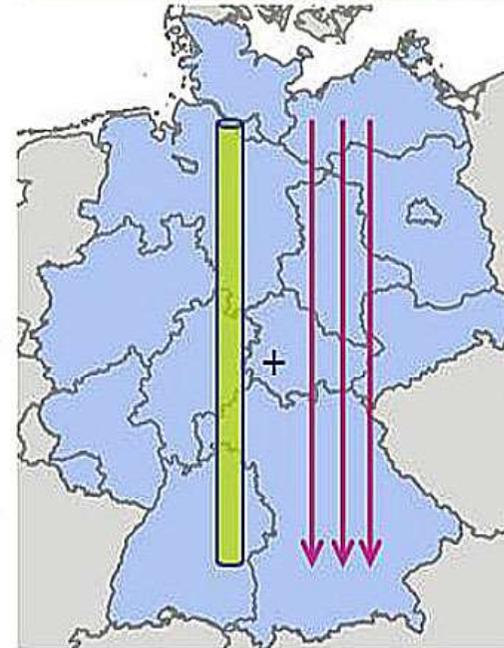
-80%₁₉₉₀ THG-Emissionen
(BZ-Fahrzeug orientierter Mix)



-95%₁₉₉₀ THG-Emissionen
(BEV/O/PtG/PtL Fahrzeugmix)



-95%₁₉₉₀ THG-Emissionen
(BEV/O/PtG/PtL Fahrzeugmix mit H₂
Erzeugung am Windstromstandort)



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

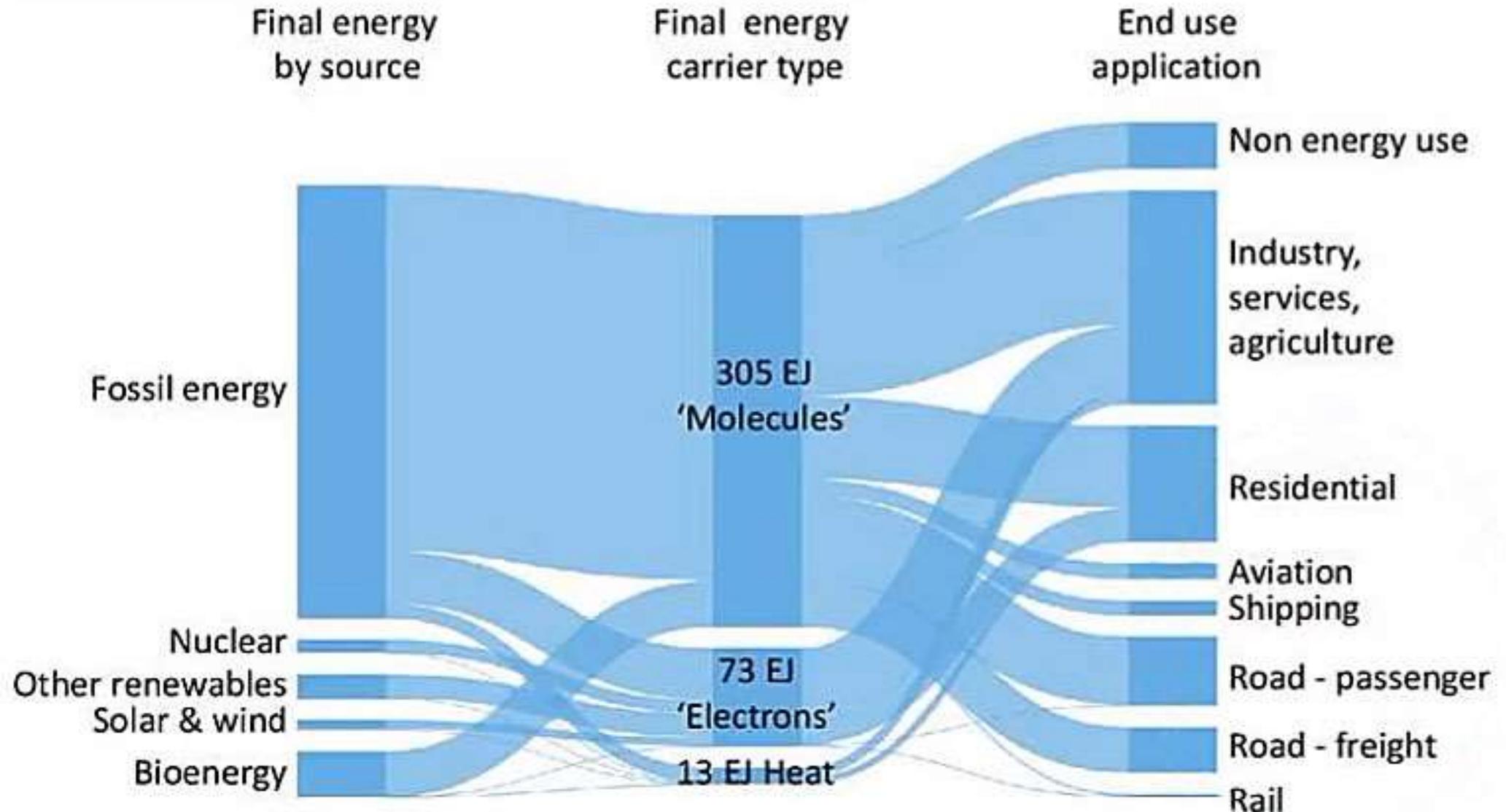
- Infrastrukturen für H₂- bzw. e-Fuels haben deutlich höhere Kapazitäten.
- Erdgas-/Flüssigmedien-Pipelines liegen bereits

↯ HVDC Kabel à 2 GW

▮ H₂-Pipeline à 40 GW

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

Today's global energy mix



Erneuerbare Primärenergien brauchen
Speicher!

Große Energiemengen lassen sich nur durch
Speicherung chemischer Energie darstellen!



Wasserstoff macht als ein idealer
chemischer Energiespeicher
Erneuerbare Energien grundlastfähig!

„Hindenburg“, Lakehurst, 6. 5. 1937

*Ursache des Unglücks:
Anstrich der äußeren Hülle*

- *schlecht leitfähig
(Potentialdifferenzen bleiben)*
- *extrem leicht brennbar
(nicht zu löschen)*

Lakehurst:

- *gewittriges Wetter*
- *Potentialdifferenz Schiff-Boden*
- *Entladung (Funke)*



Keine Explosion!

Wasserstoff ist **brennbar**

- Gemische mit Sauerstoff (Luft) können **explosiv** sein
- niedrige **Zündenergie**

Kleines Molekül

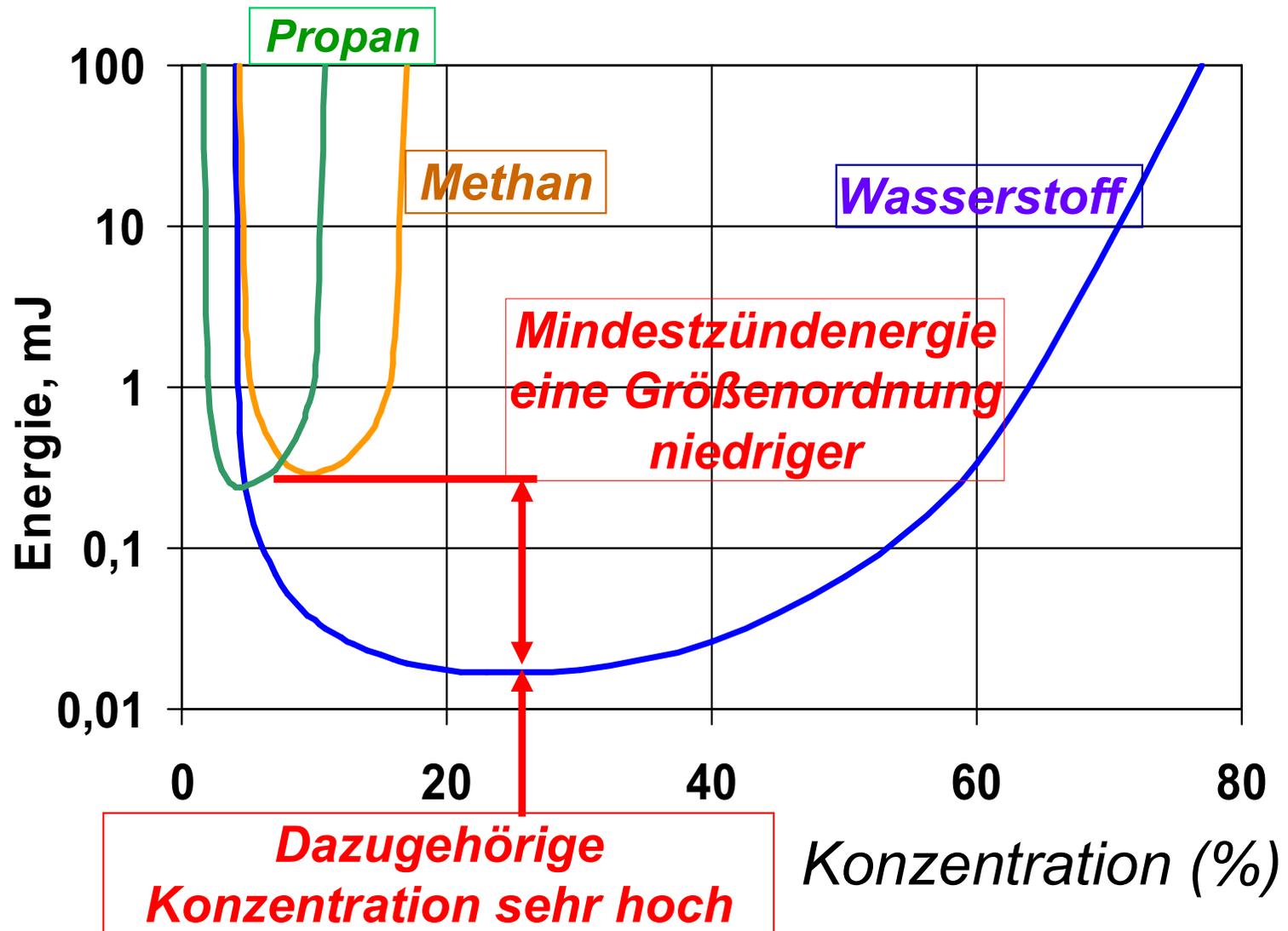
- geringe Viskosität, hohe **Leckrate**
- **diffundiert** schnell (auch nach unten!)
- **versprödet** manche Werkstoffe

Speicherung

- **komprimiert:** steht unter Spannung
- **verflüssigt:** tiefe Temperatur

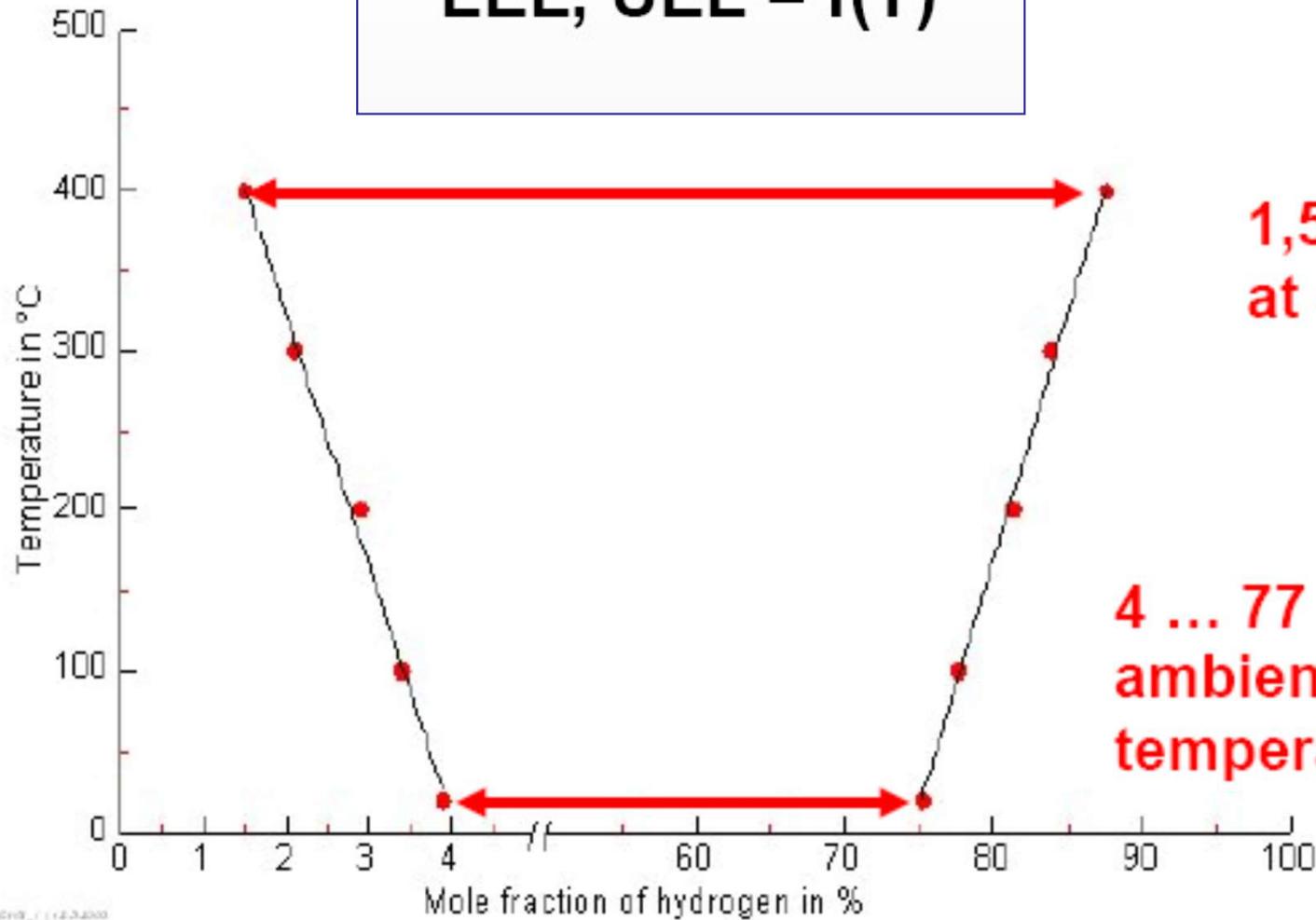
Niedrige Zündenergie...?

Vergleich Wasserstoff – Propan - Methan



H₂-Zündgrenzen

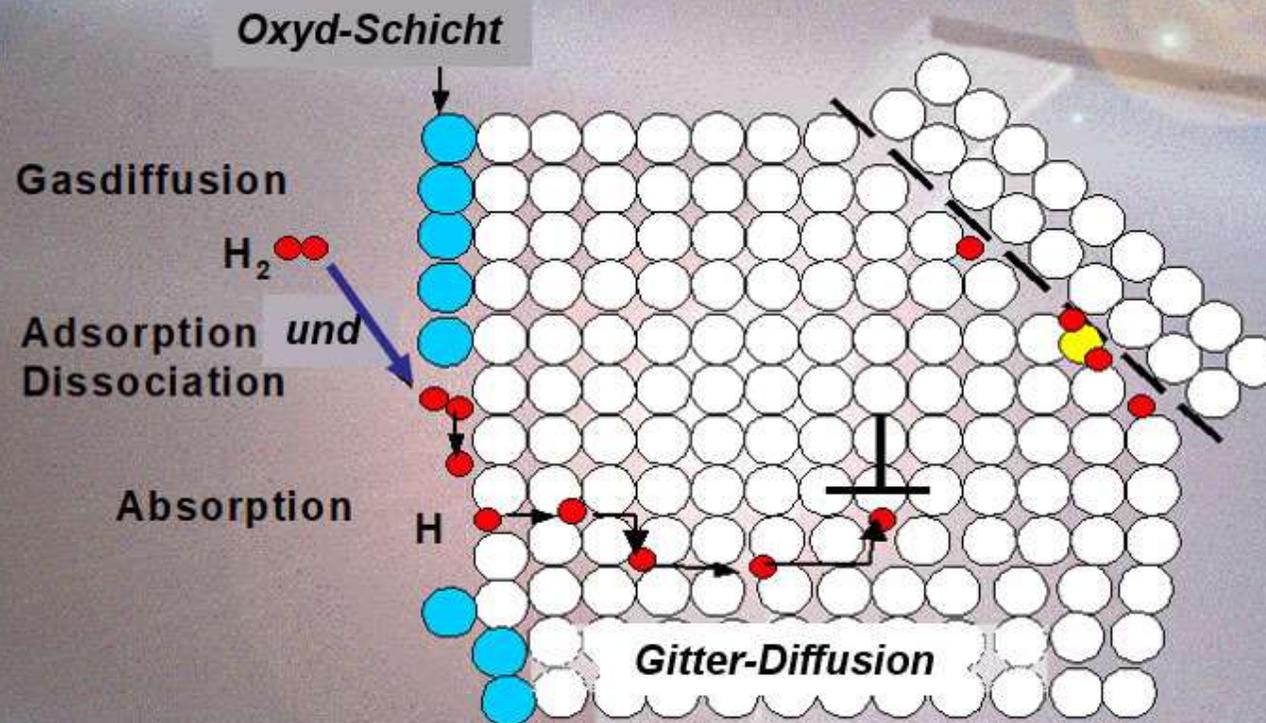
LEL, UEL = f(T)



**1,5 ... 87 %
at 400 °C**

**4 ... 77 % at
ambient
temperature**

Wasserstoff-Versprödung



Wasserstoff-Versprödung wird verursacht durch absorbierte Wasserstoff-Atome, die mit Metall-Atomen in der Umgebung lokaler Druckunterschiede interagieren.

Für Bauteile, die in Kontakt zu gasförmigen Wasserstoff stehen, ist die Absorption der Wasserstoff-Atome an der Gas-Metall-Oberfläche der Geschwindigkeits-bestimmende Schritt.

Dieser Prozess erfordert die Schaffung freier Metall-Oberflächen an Defekten der Oberfläche und wird daher durch die gleichen Effekte beeinflusst wie die Material-Ermüdung.

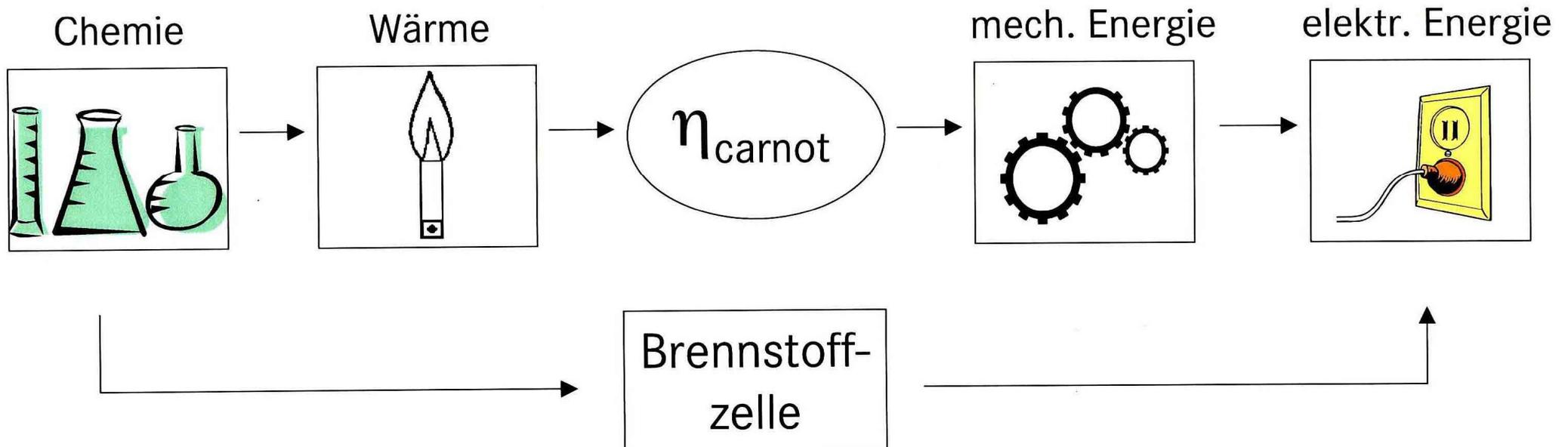
H₂-Sicherheit: Fazit

- 1) *Als brennbares Gas kann der Wasserstoff zusammen mit Luft explosive Gemische bilden, wie jedes andere brennbare Gas auch – aber mit weniger Zündenergie und einem breiteren Mischungsverhältnis.*
Mit geeigneter Überwachung ist dieses Verhalten technisch gut beherrschbar!
- 2) *Wasserstoff kann als kleinstes Atom in Festkörper eindringen (insbesondere als Proton in Metallen) und diese verspröden.*
Durch geeignete Auswahl der Werkstoffe sowie Zertifizierung und Kontrolle im Betrieb kann die Sicherheit von Bauteilen und Systemen gewährleistet werden.
- 3) *Bei besonderen Anwendungen (z.B. Speicherung, Transport) können besondere Anforderungen auftreten (z.B. Temperatur, Druck)*
Aber mit den üblichen sicherheitstechnischen Maßnahmen der betreffenden Anwendung und der Berücksichtigung der Regeln aus 1) und 2) sind diese Anforderungen sicherheitstechnisch ebenfalls beherrschbar!

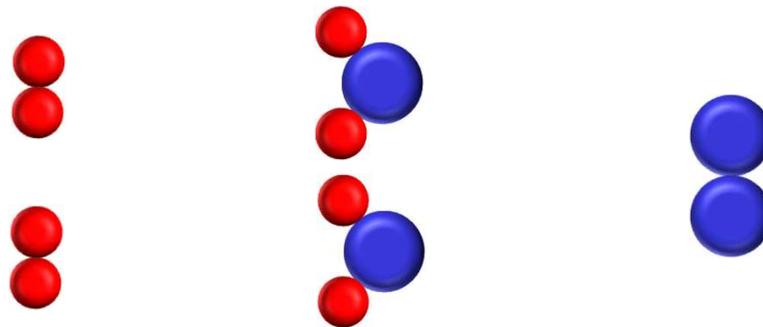
Vergleich H_2 -Verbrennung

Energiekette: Chemische Energie
(Kraftstoff) } → elektr. Energie

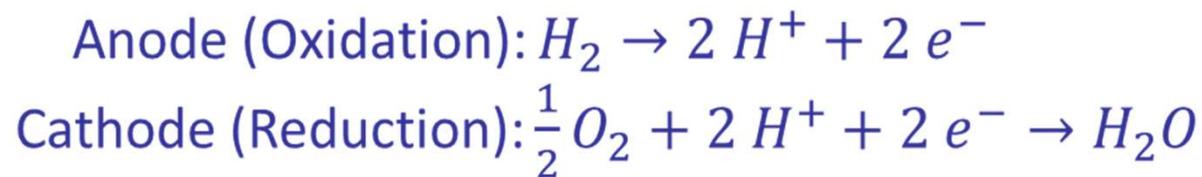
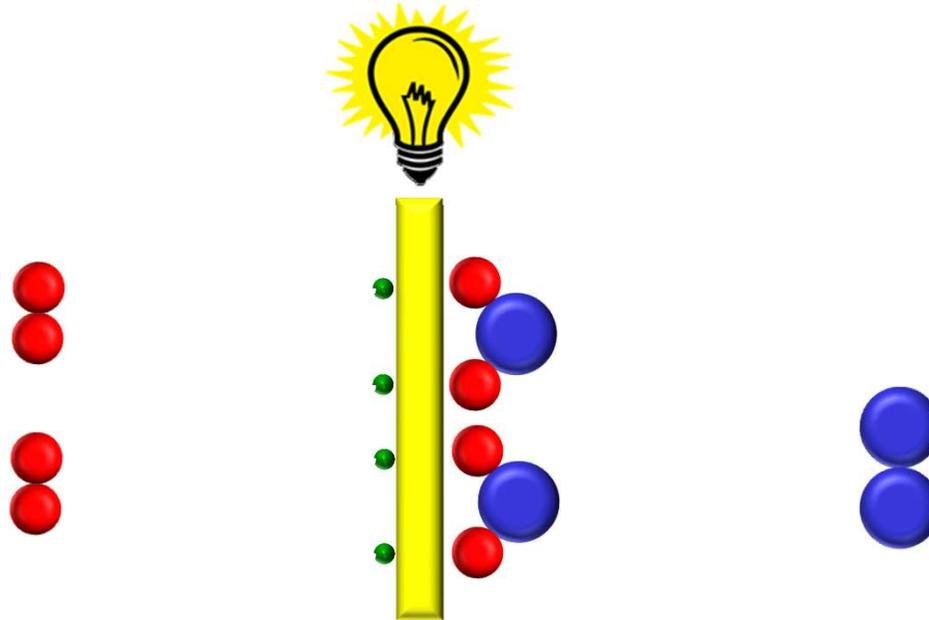
Vergleich: Verbrennungsmotor ↔ Brennstoffzelle

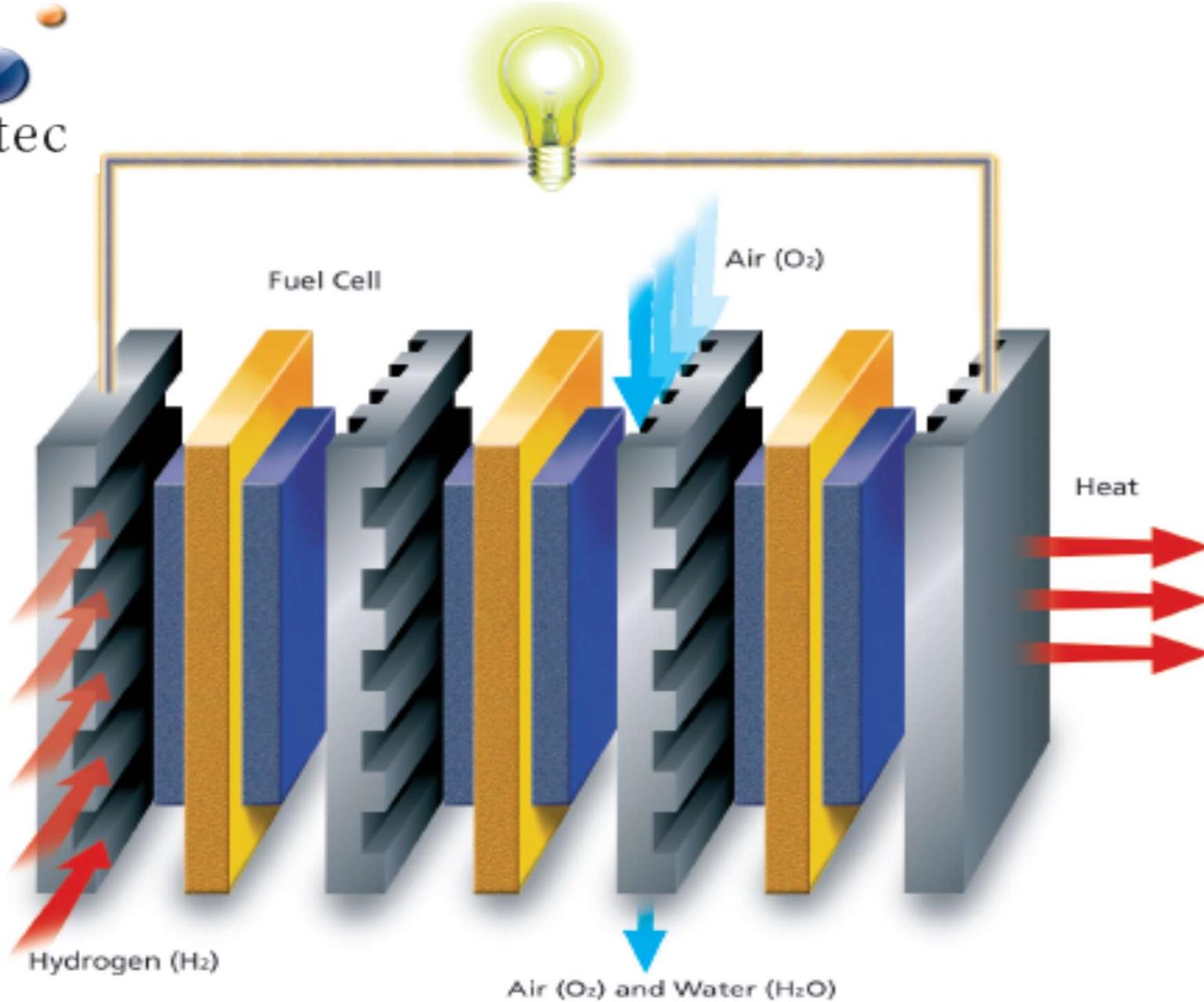


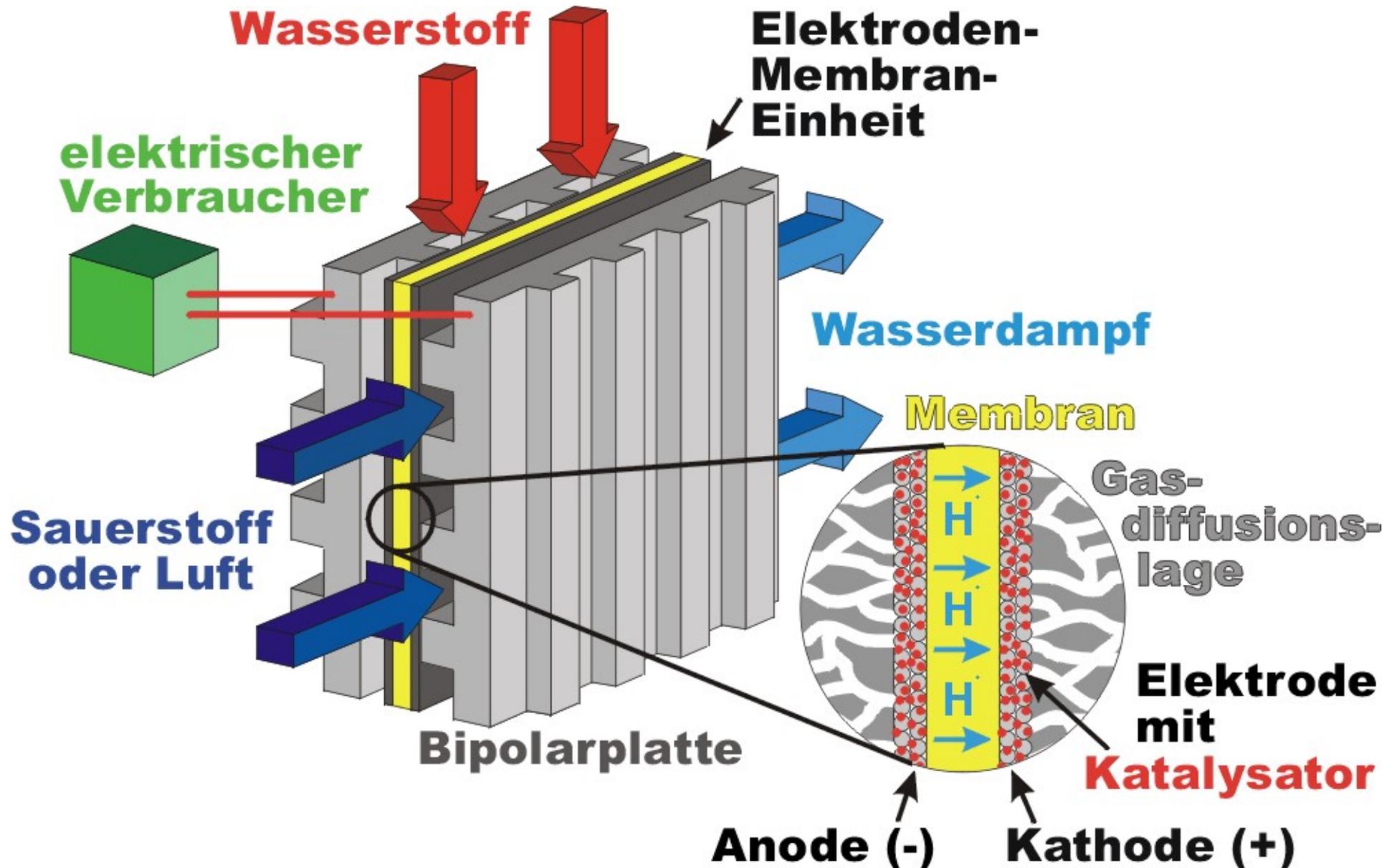
Wasserstoff-Verbrennung (direkt)



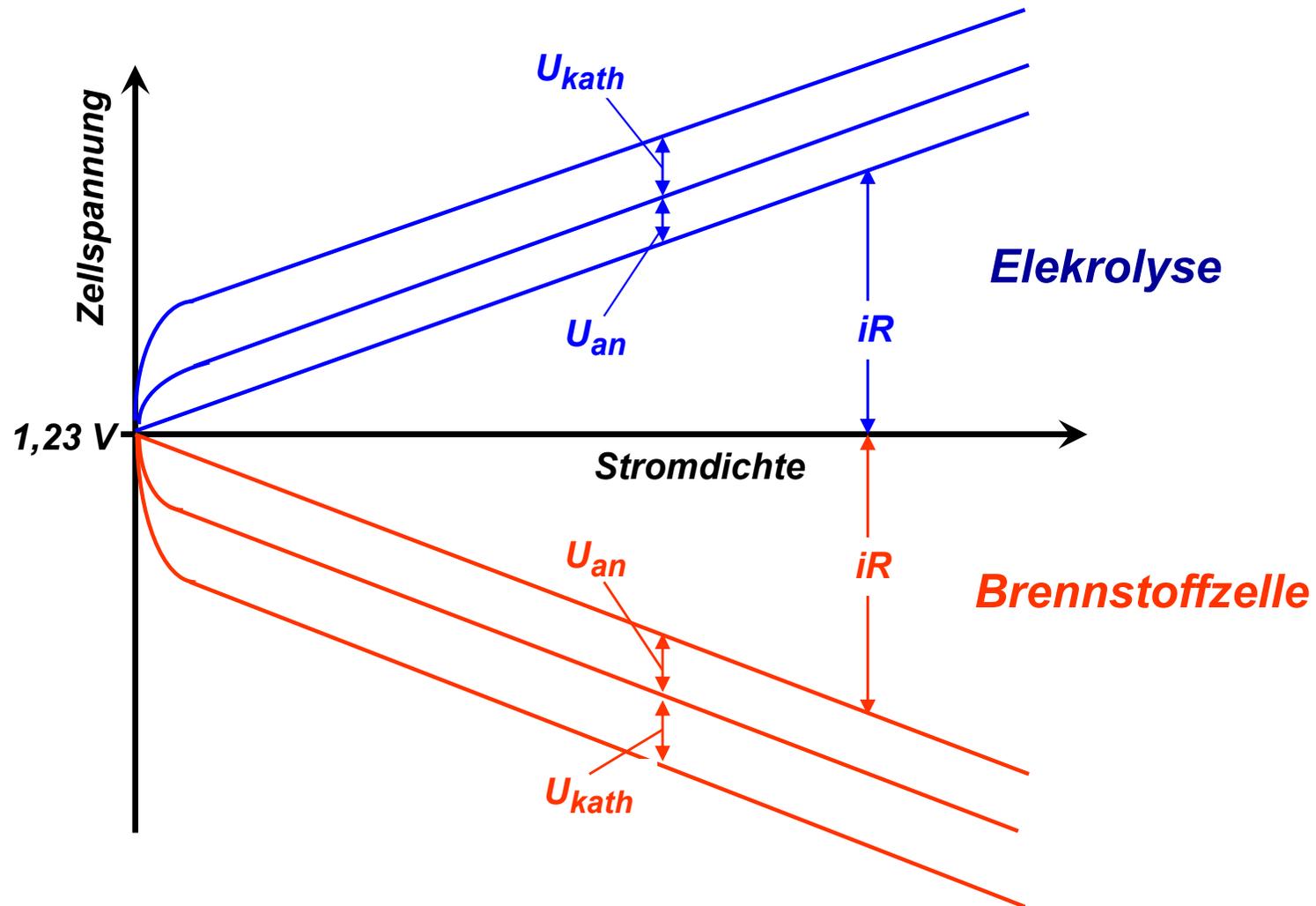
H_2 -Verbrennung (über Brennstoffzelle)



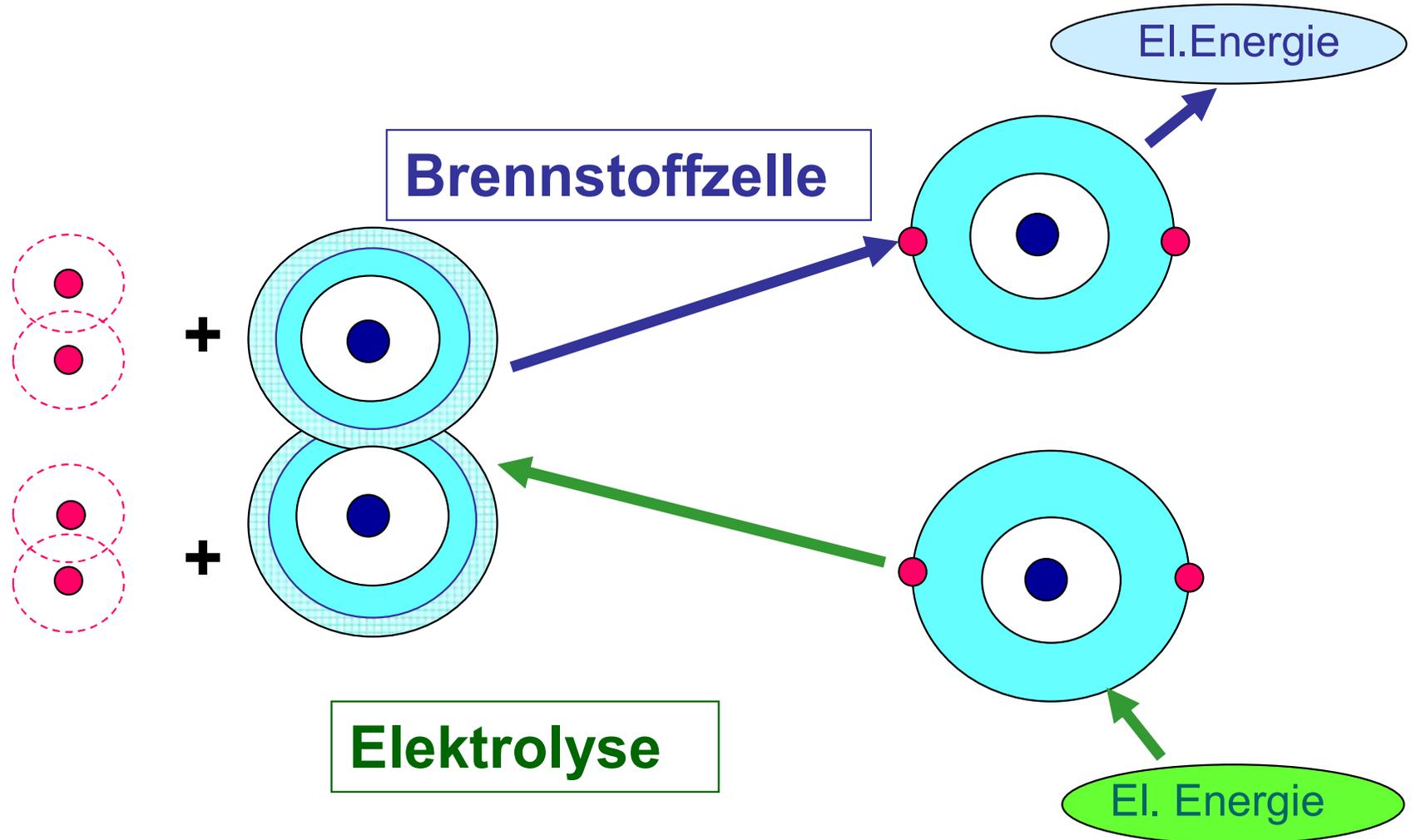




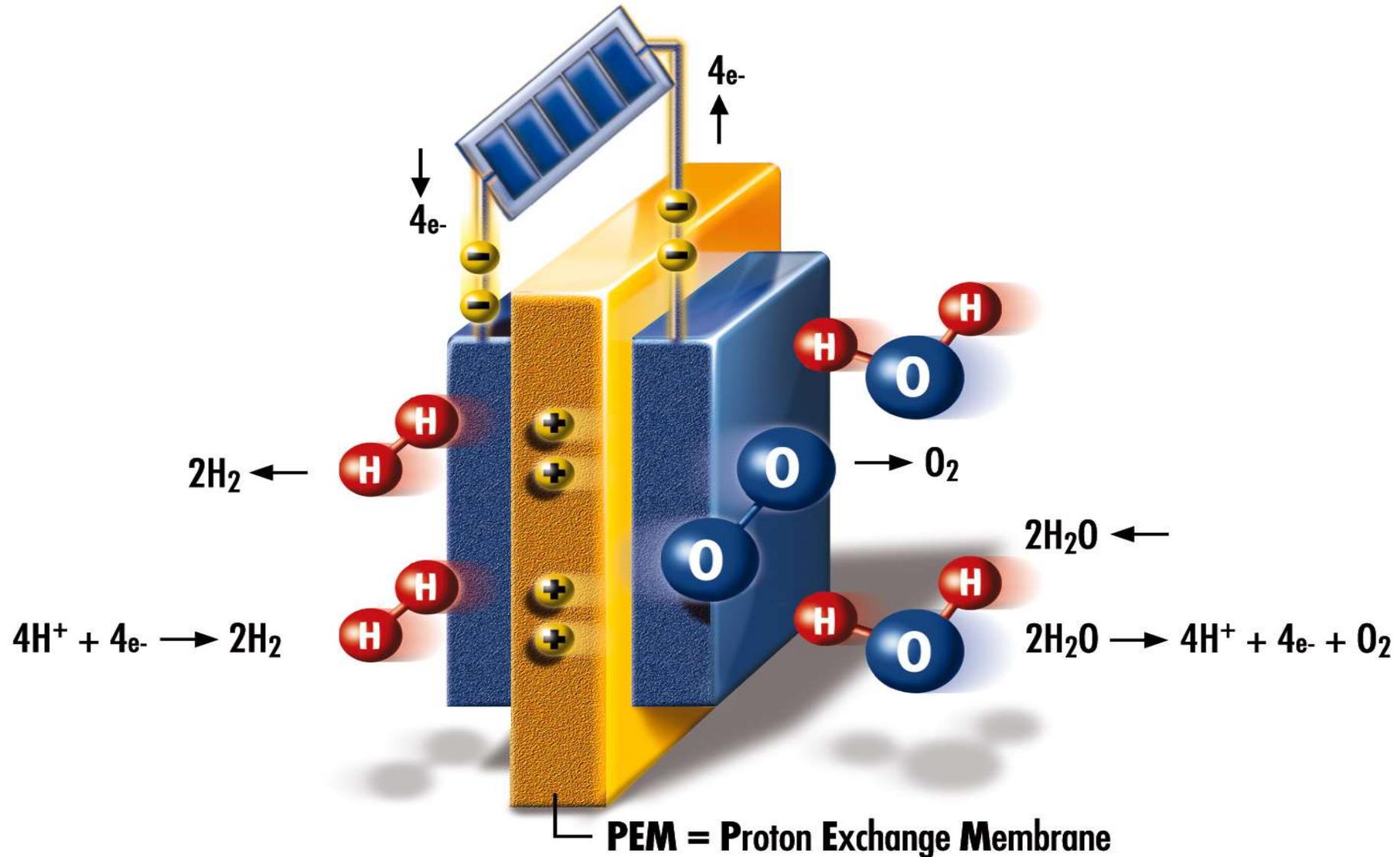
Prinzipielle Zellspannung an Elektrolyse- und Brennstoffzelle



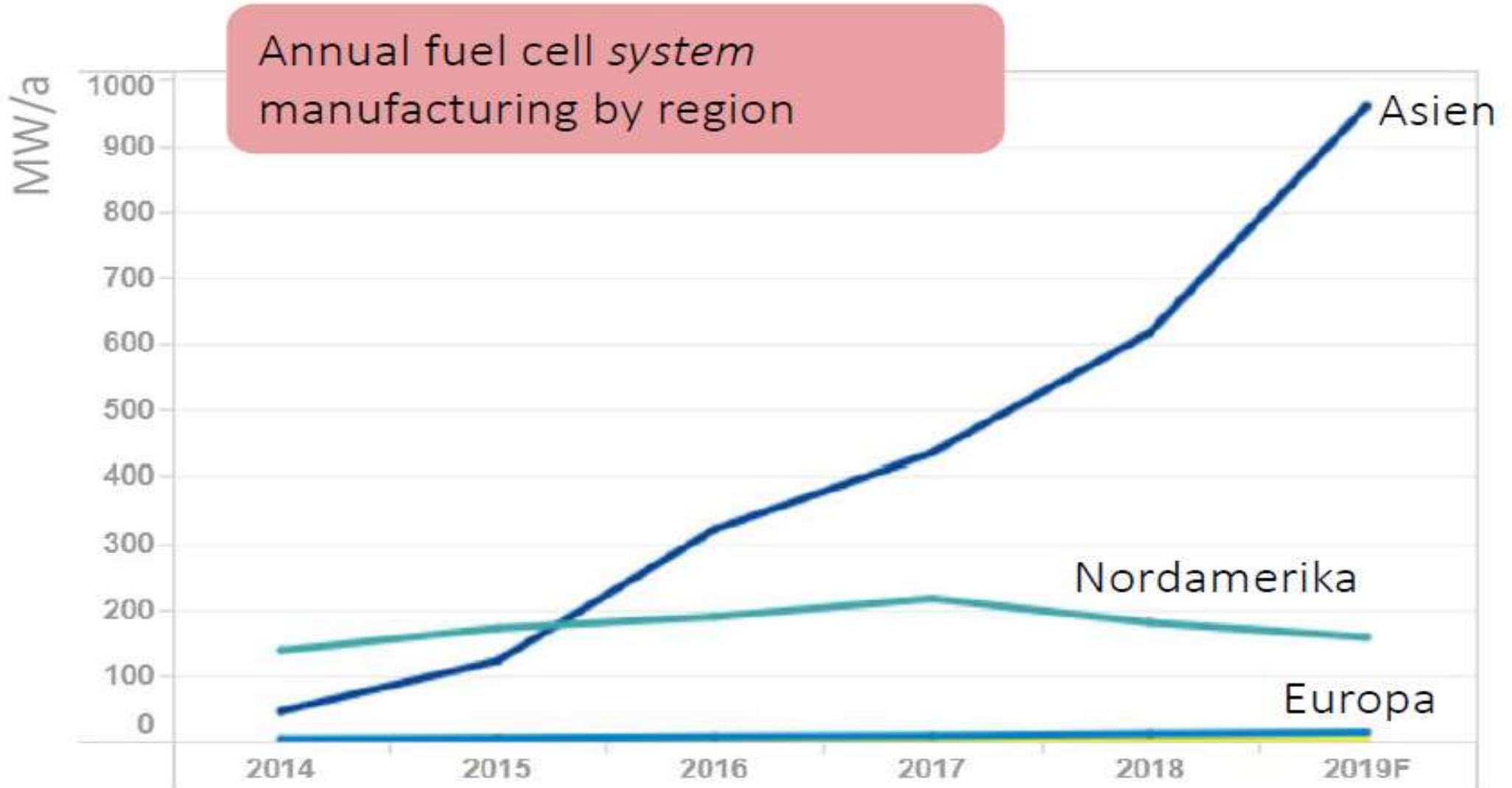
Verhalten Elektrolyse-Brennstoffzelle



Proton Exchange Membrane Electrolyser (PEM)

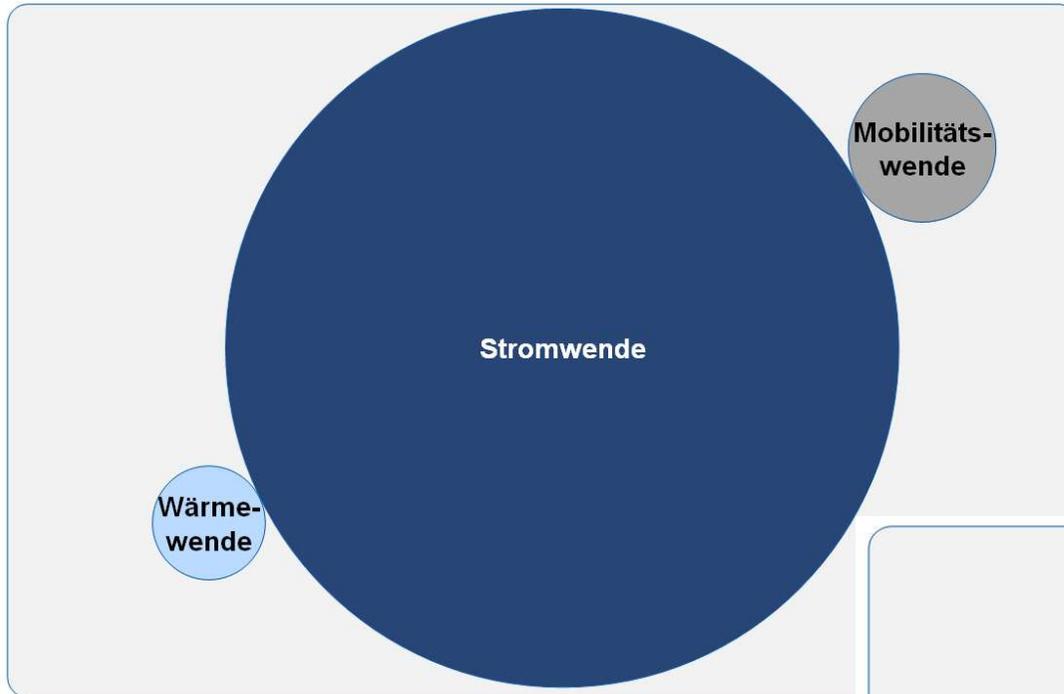


Vergleich: Produktion von BZ-Systemen

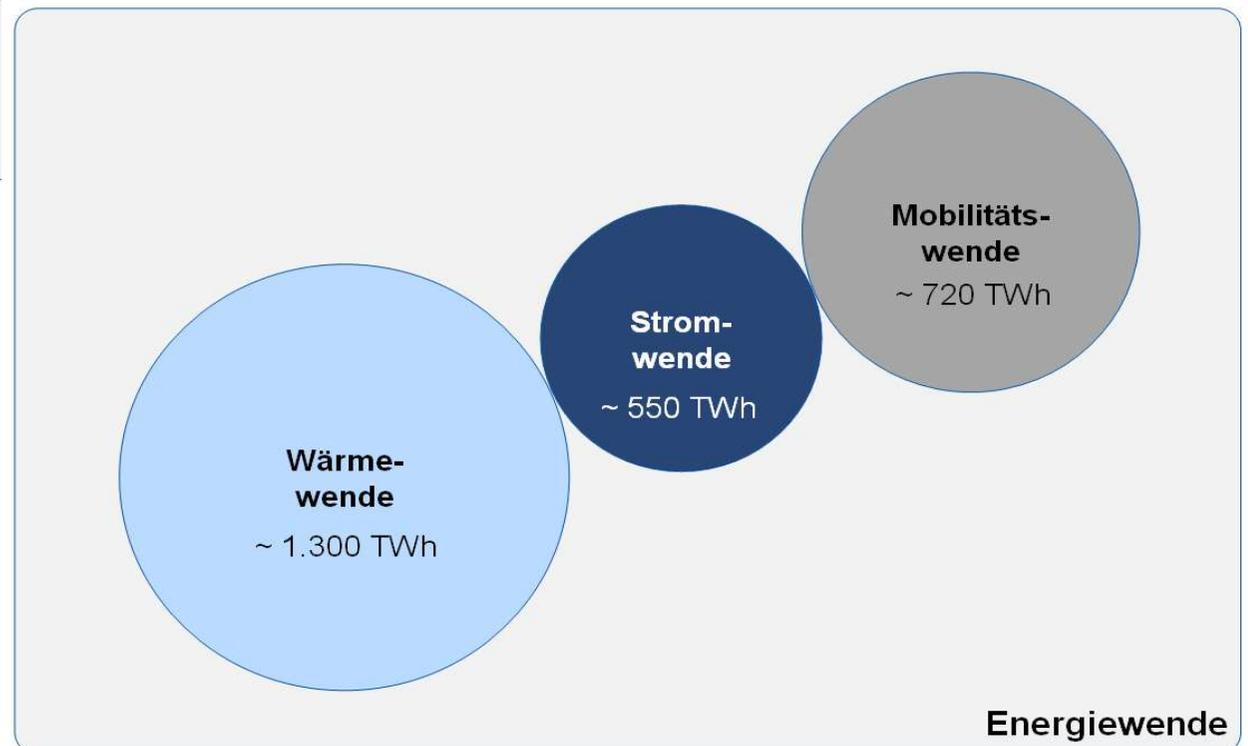


Energiewende: Wahrnehmung und Marktanteile

„Wahrnehmung“ der Energiewende

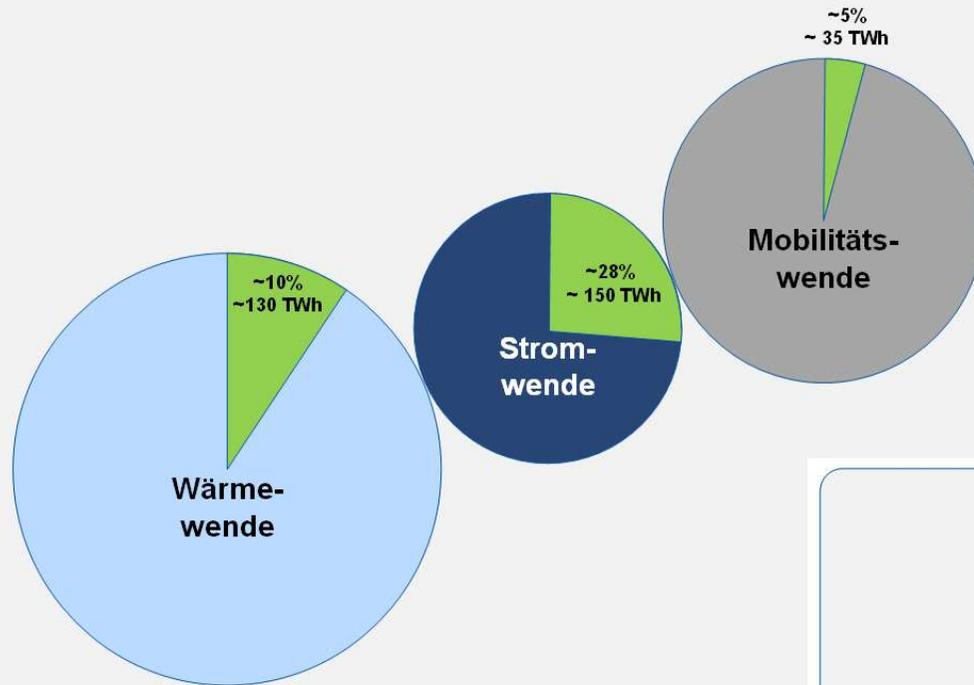


Energiewende nach Marktanteilen

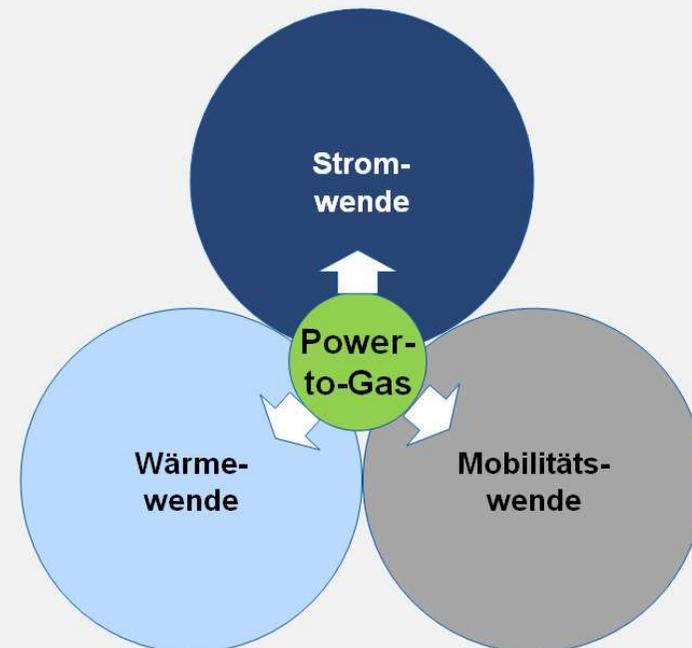


Quelle: RWE

Umsetzung der Energiewende nach Marktanteilen



Vernetzung der Energiesektoren
durch „Power to Gas“



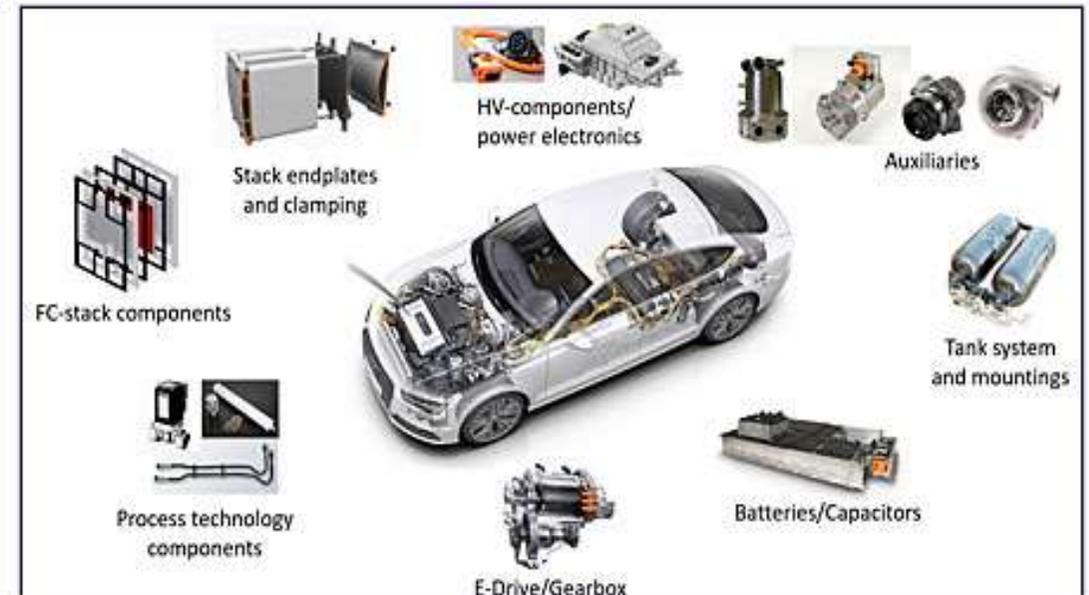
Quelle: RWE

Energiewende

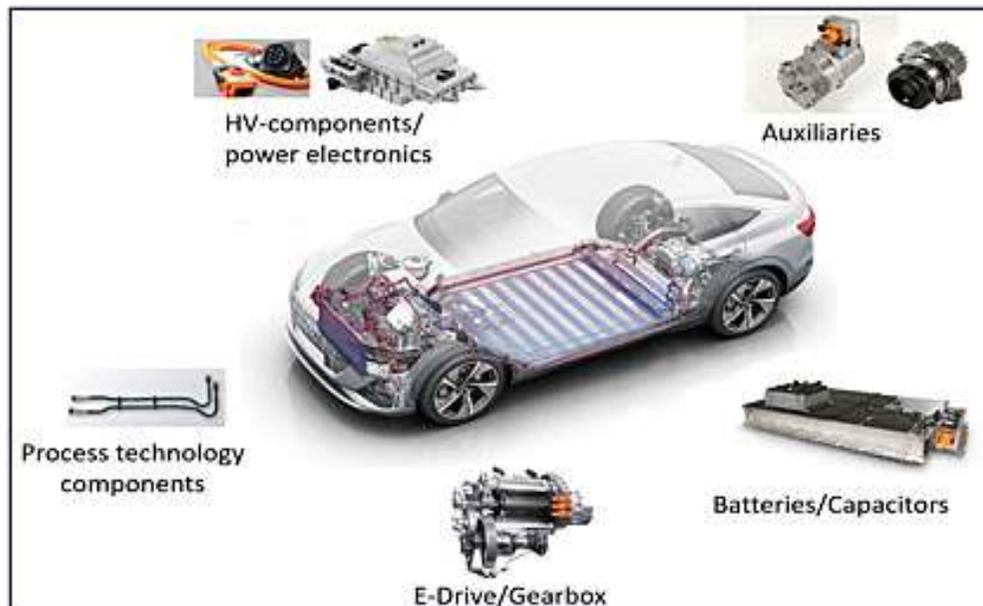
Bauteile bzw. Wertschöpfung von PKW's für verschiedene Antriebsarten



a)



b)



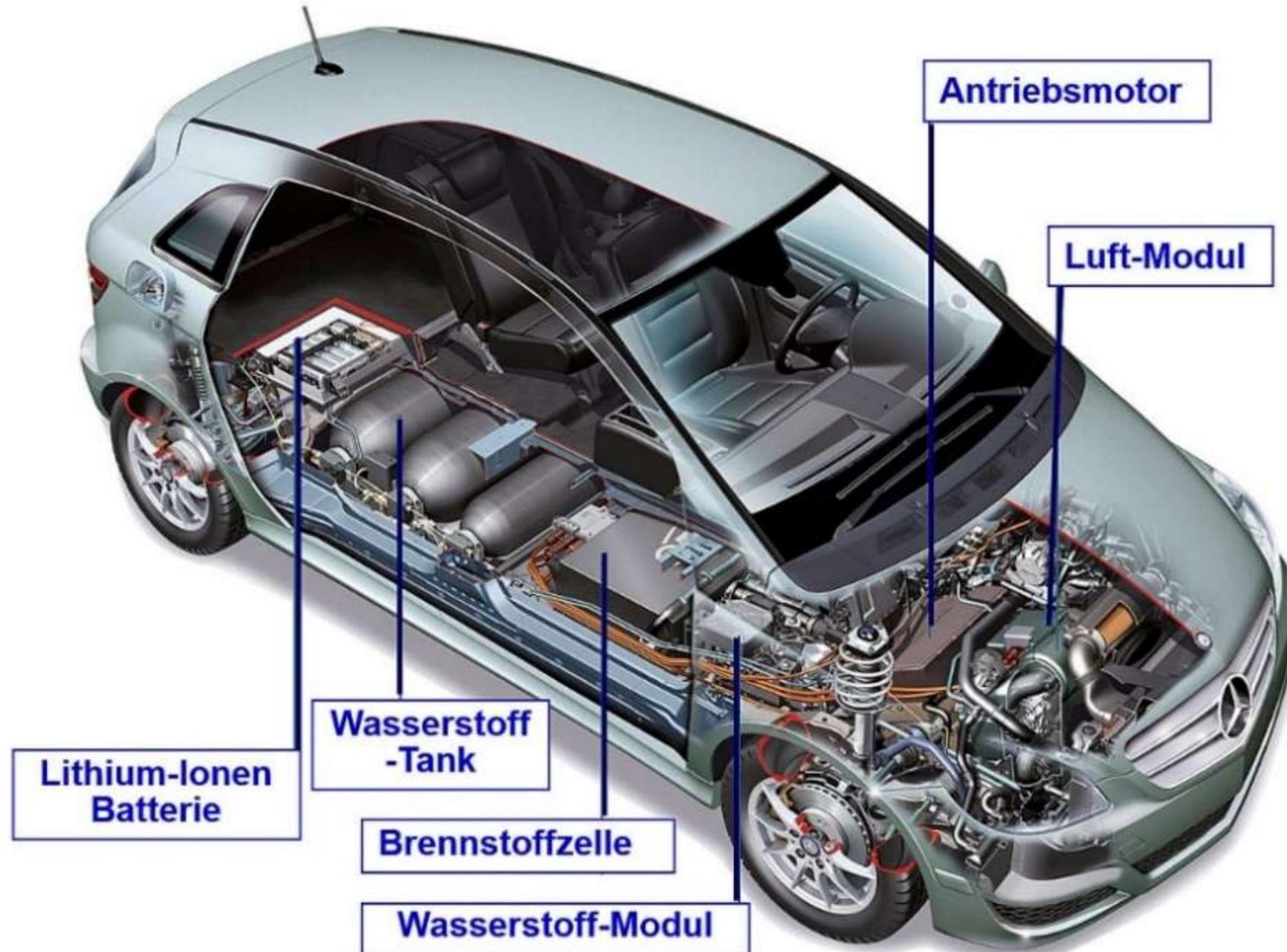
c)

Typische Komponenten für einen PKW mit Verbrennungsmotor (a) Brennstoffzellenfahrzeug (b) und Batteriefahrzeug (c)

Quelle: T.v. Unwerth

(Techn. Universität Chemnitz)

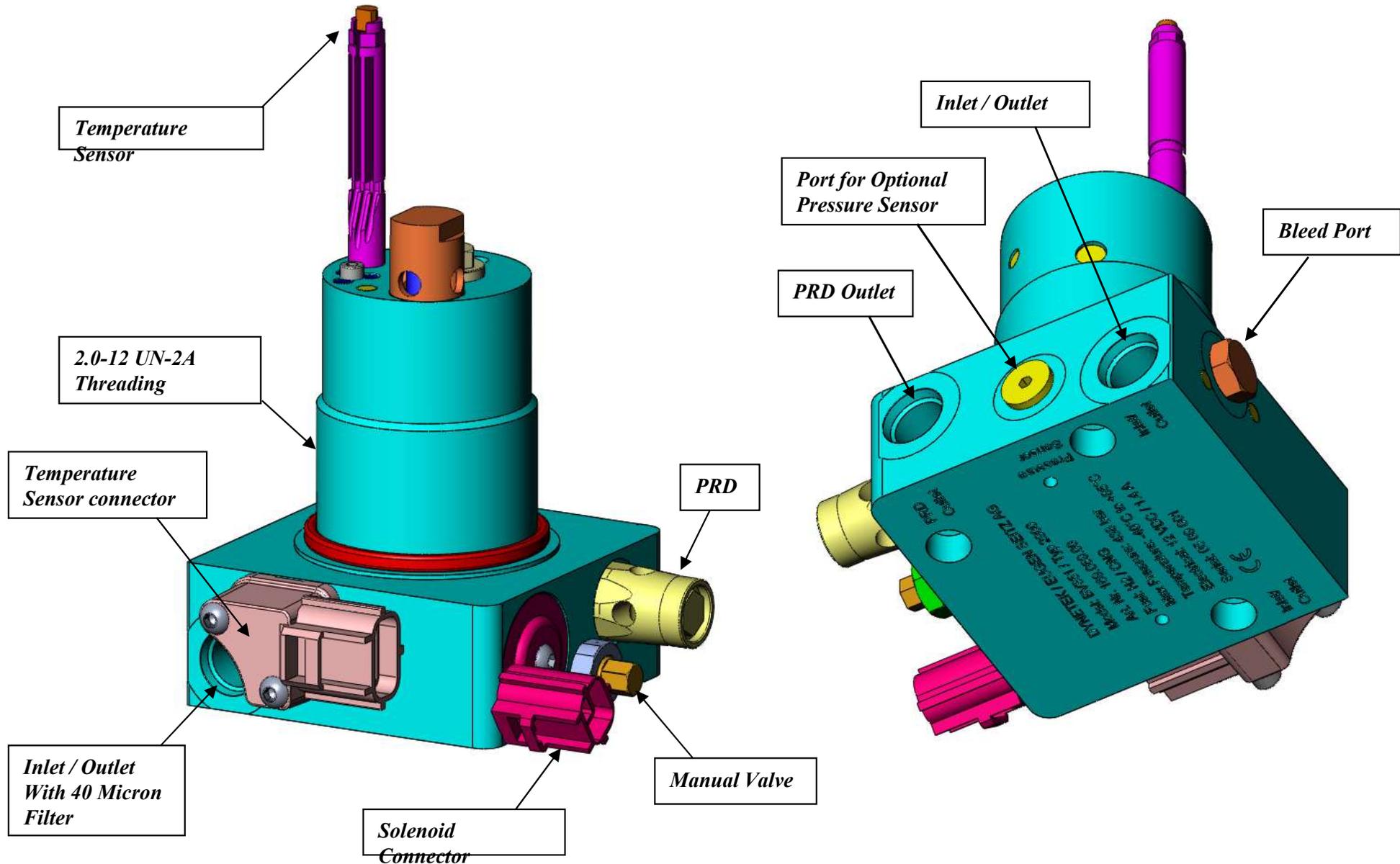
Daimler B-Klasse mit H₂/BZ-Antrieb 2010



Bauweisen von Druckbehältern



BV351 Hydrogen Valve

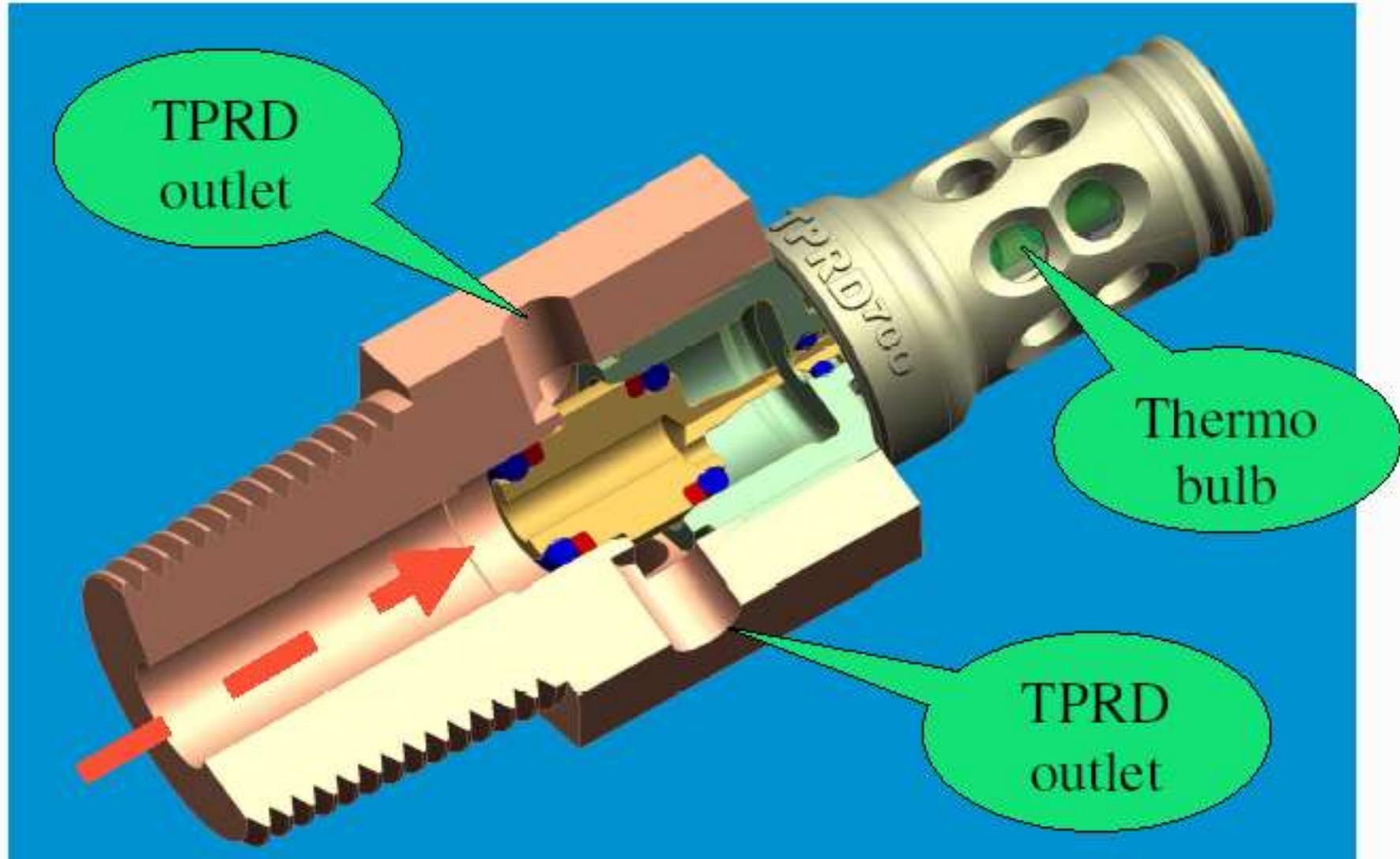


15.08.2006

Source: Dynetek

Pressure relief device

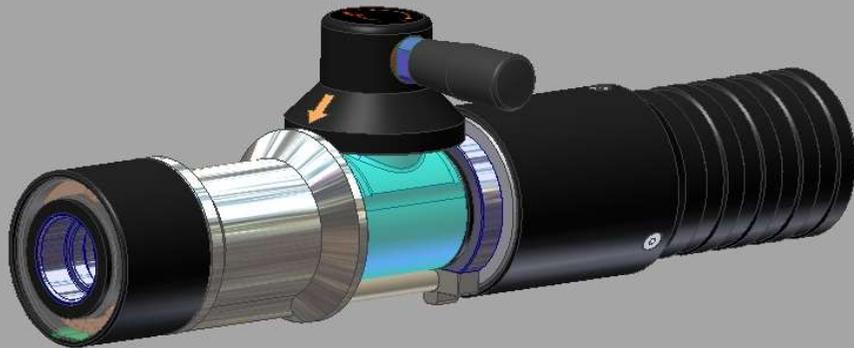
TPRD in cross section ND 9 mm



Source: VTI, Dynetek

H_2 -Füllkupplung

360 bar Bus



700 bar PKW



Abreiss-Kupplung

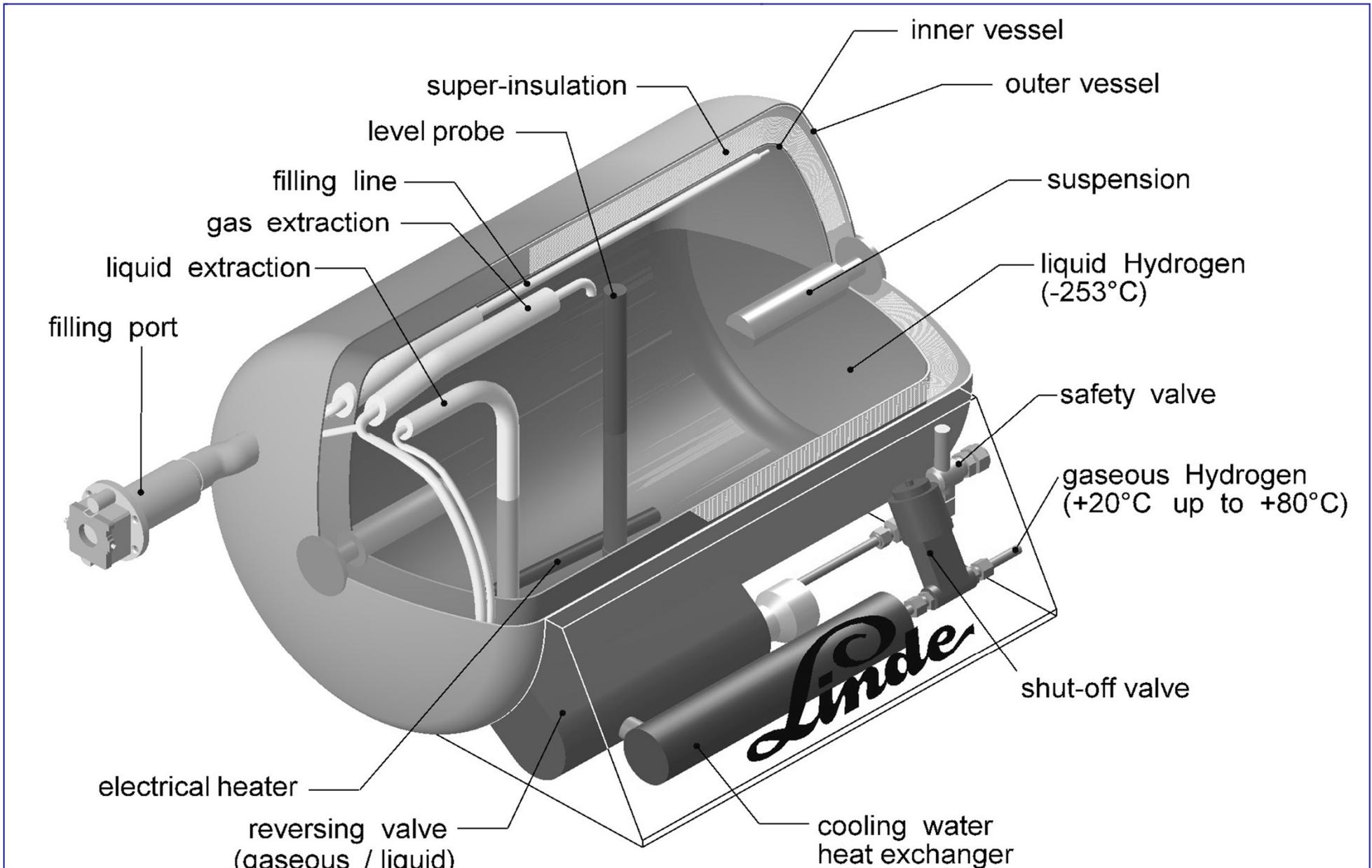


TOYOTA *Mirai 2*

NEW LAYOUT



LH₂ - Tank



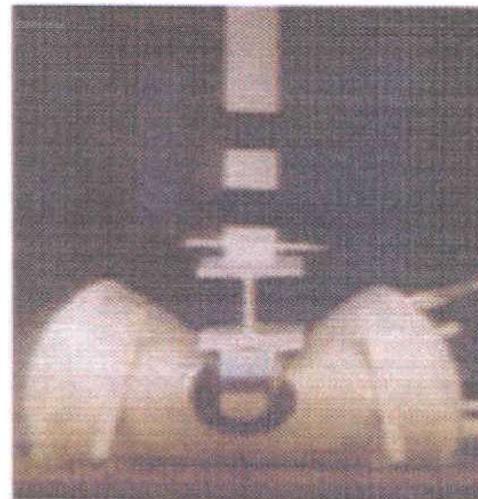
Crash Test of Liquid Hydrogen Tank

Simulation of Road Accident:

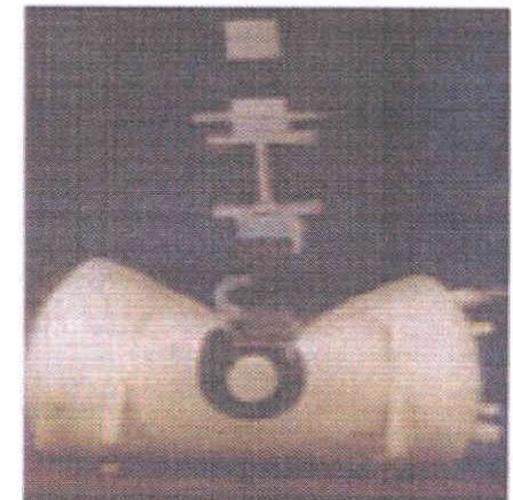
Crash of a HD-vehicle into a passenger car at 60 km/h



LH₂ tank and drop weight
5 ms pre-impact



Maximum deformation of the
LH₂ tank 30 ms post-impact



Lasting deformation of the
LH₂ tank

Safety investigations of LH₂-Tanks



Hydrogen (LH₂)



Gasoline

Source: Linde AG



Hydrogen safety

Comparison: Bonfire – Test: H₂-Vehicle ↔ Gasoline-vehicle



Photo 1 - Time: 0 min, 0 sec - Hydrogen powered vehicle on the left. Gasoline powered vehicle on the right.



Photo 2 - Time 0 min, 3 seconds - Ignition of both fuels occur. Hydrogen flow rate 2100 SCFM. Gasoline flow rate 680 cc/min.



Photo 3 - Time: 1 min, 0 sec - Hydrogen flow is subsiding, view of gasoline vehicle begins to enlarge



Photo 4 - Time: 1 min, 30 sec - Hydrogen flow almost finished. View of gasoline powered vehicle has been expanded to nearly full screen

Flüssiger Wasserstoff

Gleichgewichtstemperatur bei 1 bar: $20 \text{ K} = -253^\circ\text{C}$

Vorteil:

- geringes Speichergewicht → große Energiemengen speicher- und transportierbar (LKW, Container)

Nachteil:

- hoher Energiebedarf für die Verflüssigung (~25% des Energieinhaltes)
- Verdampfungsverluste durch hohe Temperaturdifferenz zur Umgebung

Anwendungsgebiete:

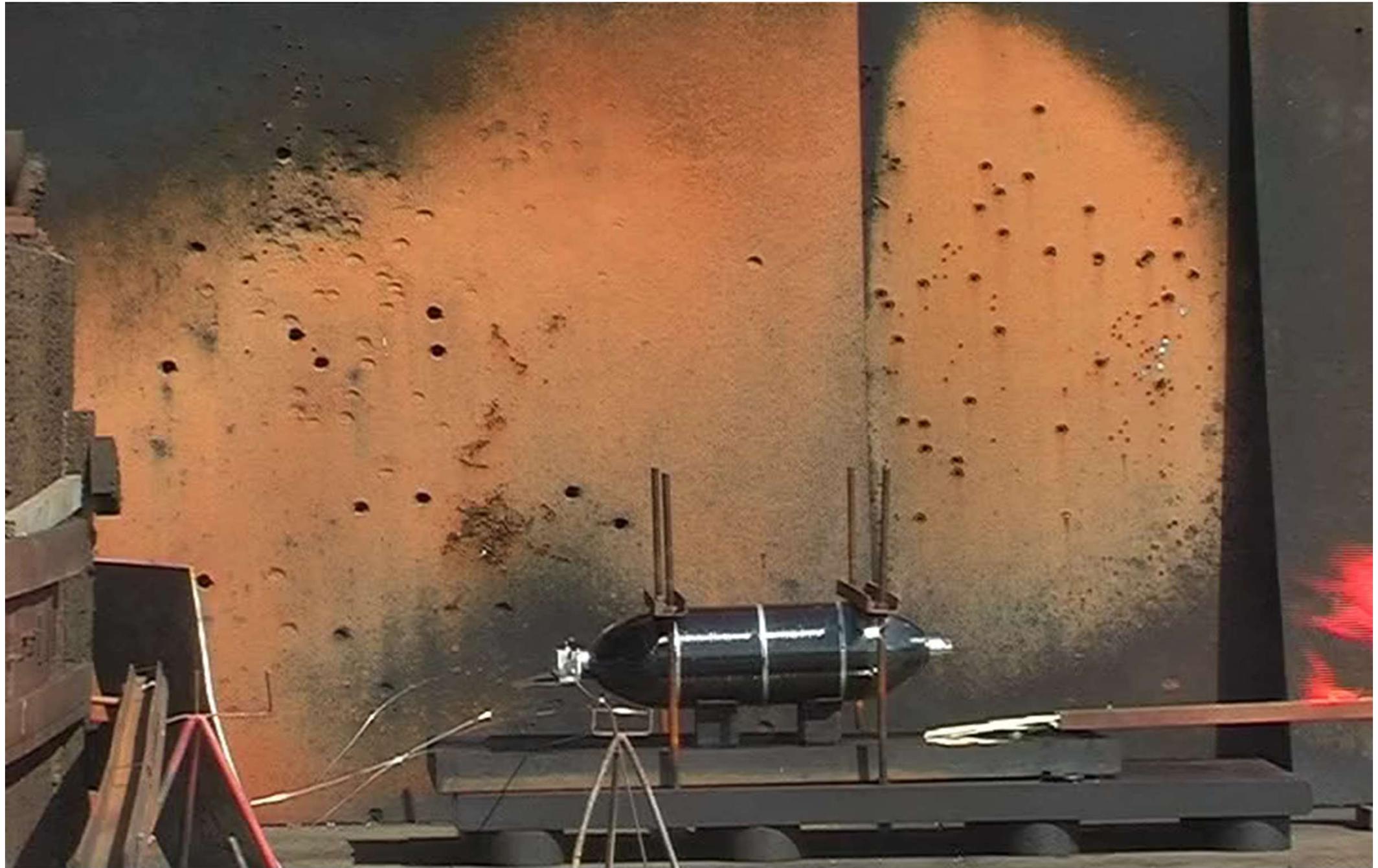
- Speicherung und Transport großer H_2 -Mengen z.B. Flugzeuge, Schiffe mit vorrangig kontinuierlichen Betrieb
(auch verlastbare Container bei Binnenschiffen und Bahnen)

Unfall eines CNG-Fahrzeuges



Source: Powertech





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!***