

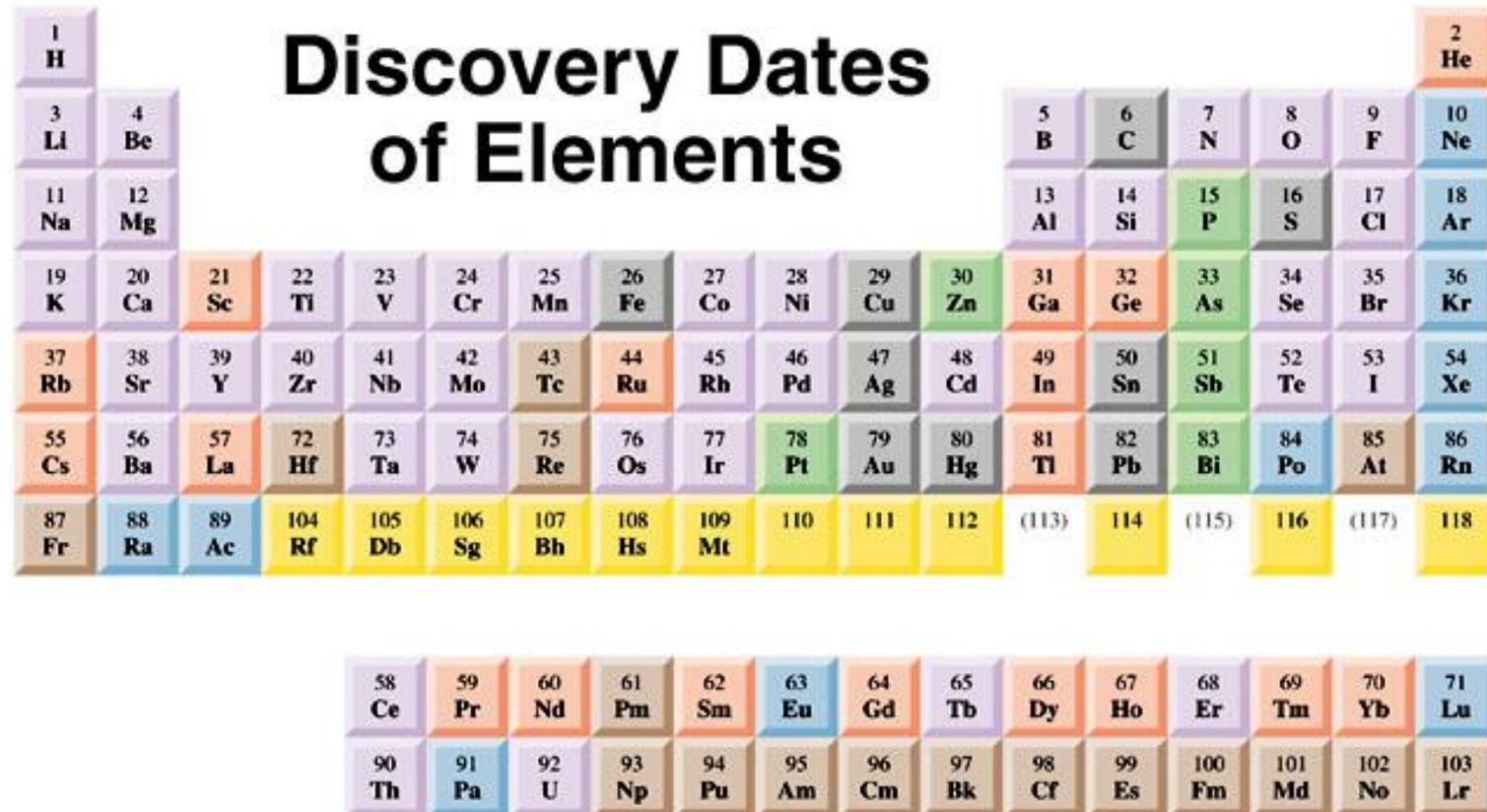
Wasserstoff als Energiespeicher Vorkommen, Darstellung und Nutzung

Prof. Dr. Michael Fröba

Institut für Anorganische und Angewandte Chemie
Universität Hamburg

Entdeckung der Elemente (Zeiträume)

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- Eigenschaften
 - leichteste aller Gase, hohe Auftriebskraft
 - wird bei $-252,76\text{ °C}$ flüssig
 - farblos, geruch- und geschmackloses, wasserunlösliches Gas
- Vorkommen
 - Kosmos:
häufigste Element
2/3 der Gesamtmasse des Weltalls besteht aus Wasserstoff
 - Erde:
untere Atmosphäre (H_2) nur in Spuren
aber in gebundener Form in Wasser (H_2O)
- Verwendung
 - 50% für Ammoniaksynthese (NH_3); Düngemittel
 - 37 % für Produkte aus Erdöl
 - 8 % für Methanolsynthese (CH_3OH)
 - 4 % andere

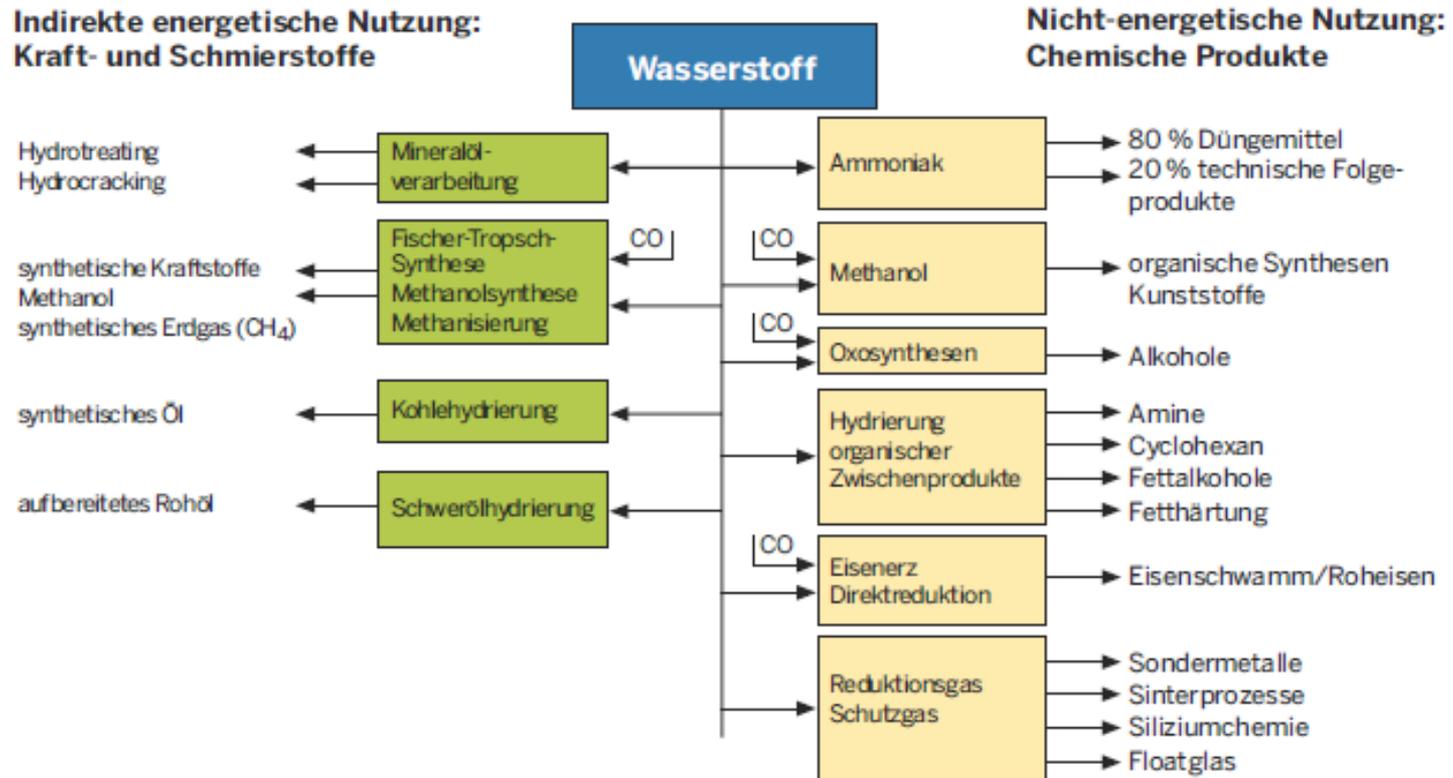
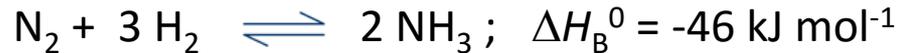


Abbildung 1.2: Wasserstoff in der Industrie und Petrochemie

Quelle: DLR (2006)

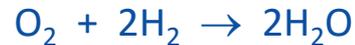
- HABER-BOSCH-Verfahren: Synthese von Ammoniak (NH_3) aus den Elementen



- Druck: 25 - 35 MPa (250 - 350 bar)
 - Temperatur: 400 - 500 °C
 - Katalysator: Eisenoxid
-
- Ammoniak:
 - bei Raumtemperatur gasförmig, Siedepunkt -33 °C
 - gut löslich in Wasser (H-Brücken, "Ammoniakwasser")
 - giftig, stechender Geruch ("Salmiak" = NH_4Cl)
 - wichtige Industriechemikalie, vor allem für die Herstellung von Düngemitteln ("Stickstoffdünger")
 - Produktion weltweit ca. 120 Millionen Tonnen pro Jahr

- Sauberer Energieträger

bildet bei der Verbrennung/Brennstoffzelle nur Wasser + (Wärme/Strom)



produziert keine giftigen Abgase/Treibhausgase

- Hoher Energieinhalt

Steinkohle	30 MJ/kg
Benzin	43 MJ/kg
Methan	50 MJ/kg
Wasserstoff	120 MJ/kg

- Automobil

für 400 km Reichweite benötigt man

Verbrennungsmotor:	24 kg Benzin oder 8 kg Wasserstoff
Elektroauto (Brennstoffzelle):	4 kg Wasserstoff

Die Brennstoffzelle

Heiztechnik der Zukunft

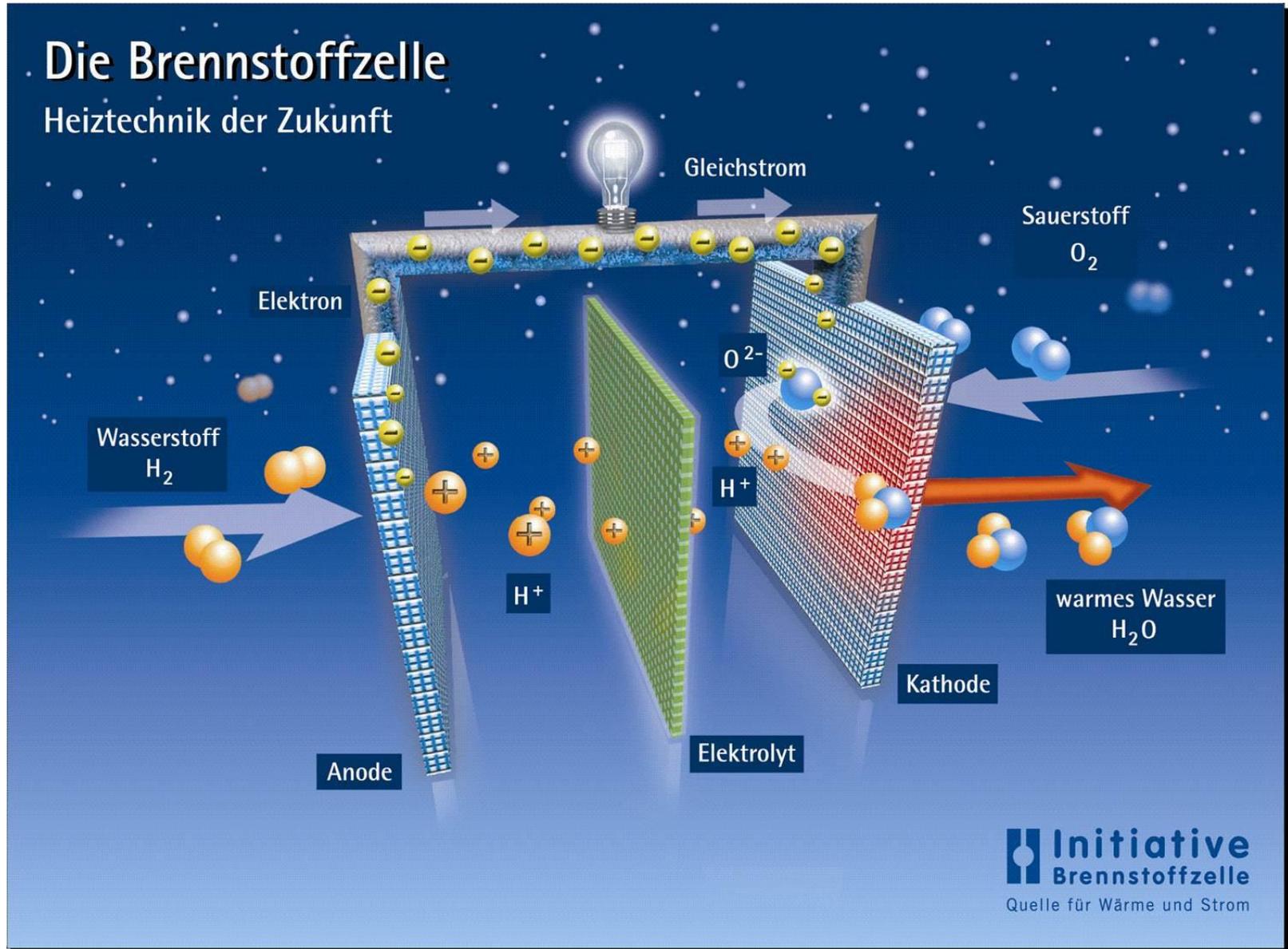


Tabelle 14.4 Die wichtigsten Brennstoffzellentypen

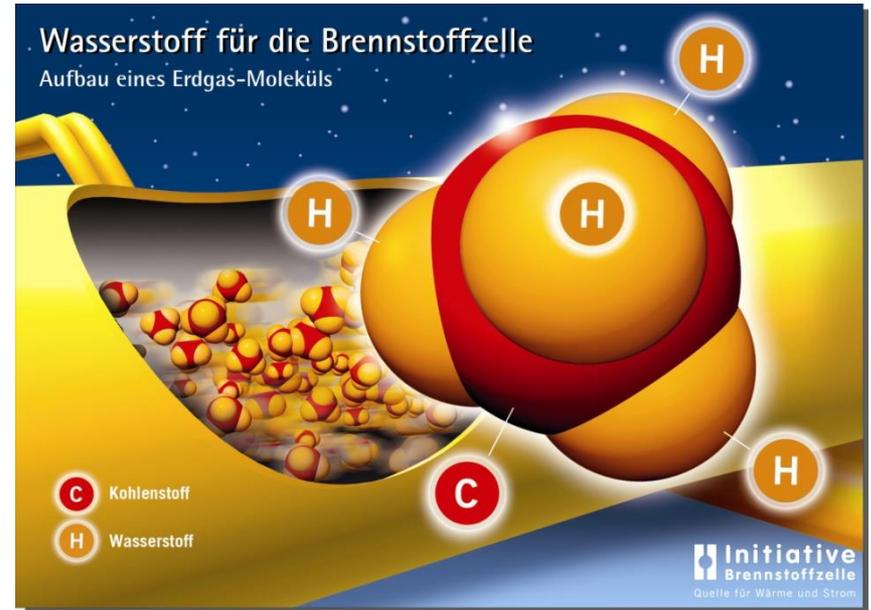
Typ	alkalische BZ ¹ (AFC) ²	Protonenaustauschmembran-BZ (PEMFC)	Phosphorsäure-BZ (PAFC)	Carbonatschmelzen-BZ (MCFC)	oxidkeramische BZ (SOFC)
Elektrolyt	wässrige KOH-Lösung	Protonenaustausch-Membran	konzentrierte Phosphorsäure in poröser Matrix (SiC-PTFE)	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ -Schmelze in LiAlO ₂ -Matrix	keramischer Festkörper ZrO ₂ (Y ₂ O ₃)
Temperatur (°C)	< 100	60 – 120	160 – 220	600 – 660	800 – 1000
Brennstoff	Wasserstoff, Hydrazin	Wasserstoff, Methanol (reformiert)	Erdgas (reformiert),	Erdgas, Biogas	Erdgas, Biogas
Oxidationsmittel	Sauerstoff	Luftsauerstoff	Luftsauerstoff	Luftsauerstoff	Luftsauerstoff
Anwendung	Transport Raumfahrt Militär Speichersysteme Batterieersatz		Kraft-Wärme-Kopplung dezentrale Stromversorgung	Kraft-Wärme-Kopplung dezentrale Stromversorgung Transport (Schiffe, Schienenfahrzeuge) Sonderanwendungen	
realisierte Leistung	Kleinanlagen 5 – 150 kW (modular)	Kleinanlagen 10 W – 250 kW (modular)	Kleinanlagen mittlere Anlagen 50 kW – 11 MW	Kleinanlagen 100 kW	Kleinanlagen 100 kW

¹ BZ: Brennstoffzelle ² FC: Fuel Cell

Aus "Allgemeine und Anorganische Chemie" (Binnewies, Jäckel, Willner, Rayner-Canham), erschienen bei Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; © 2004 Elsevier GmbH München. Tabelle14-04.jpg

- Weltweite Wasserstoffproduktion (2006)
 - 96% aus fossilen Energieträgern
 - **Erdgas (49 %)**
 - Flüssige Kohlenwasserstoffe (29 %)
 - Kohle (18 %)
 - 4 % aus Chlor-Alkali-Elektrolyse und anderen Quellen
- weltweit werden heute 50 Mio. t Wasserstoff hergestellt und verbraucht (entspricht: 2% des weltweiten Energiebedarfs)
- Zukünftig
 - Erzeugung von Strom aus regenerativen Energiequellen (z.B. Wind, Sonne, Wasserkraft)
 - Nutzung dieses Stroms zur Spaltung von Wasser (Elektrolyse)
$$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2$$
 - Speicherung des Stroms in Form des sekundären Energieträgers Wasserstoff

- Reformierung von Erdgas
 - Erdgas bzw. Methan (CH_4) hat einen hohen Gehalt an Wasserstoff
 - Gegenwärtig wird Wasserstoff größtenteils durch Dampfreformierung von Erdgas erzeugt.
 - Neben Wasserstoff entsteht auch Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO_2)



Dampfreformierung bei 800 °C

Shiftreaktion bei 400/200 °C

selektive CO-Oxidation bei 100 °C

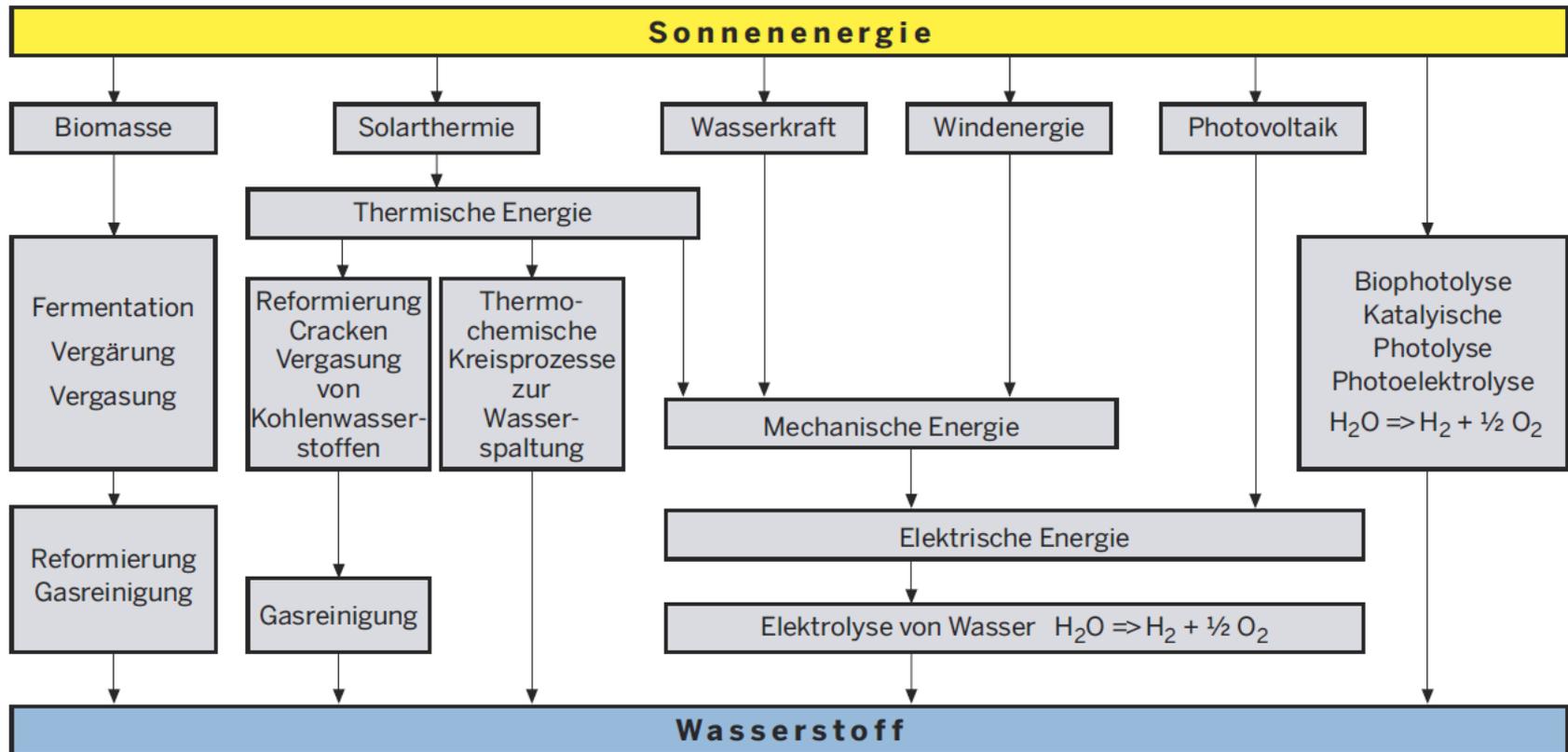
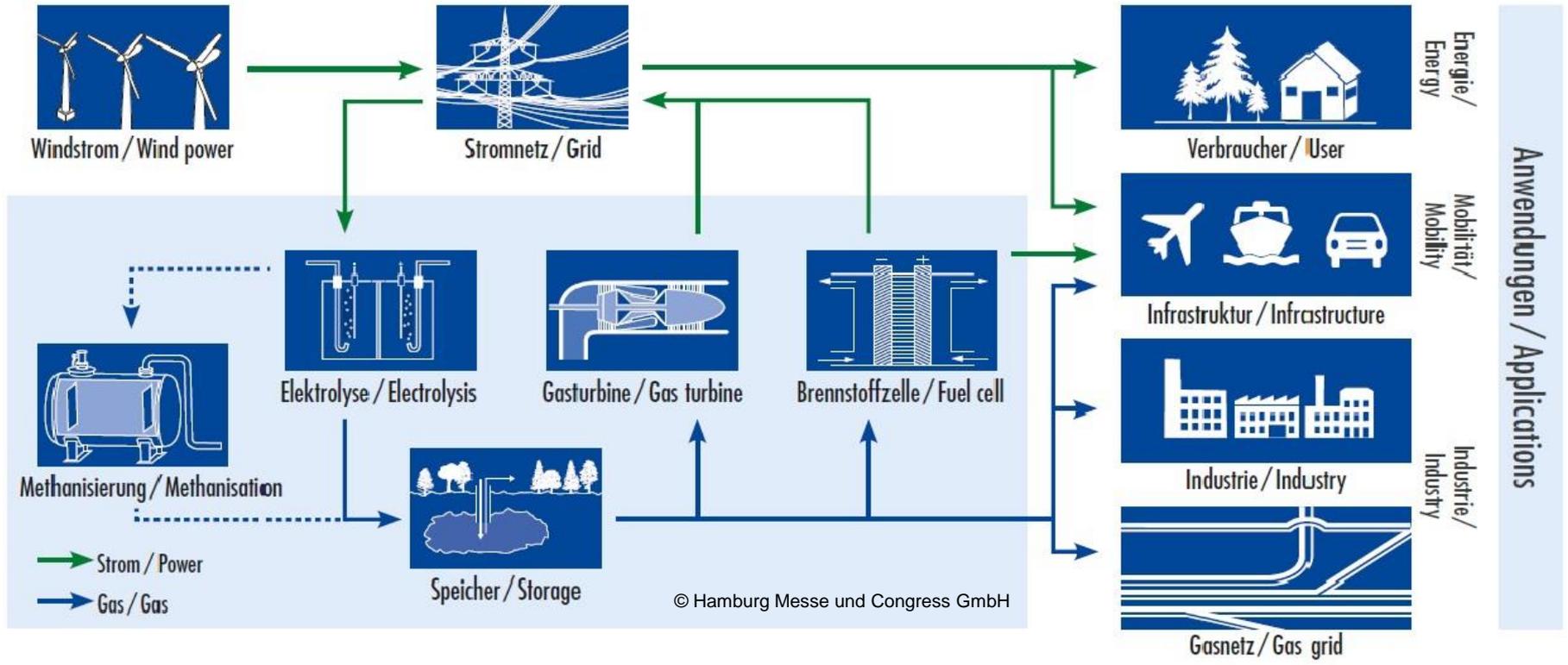
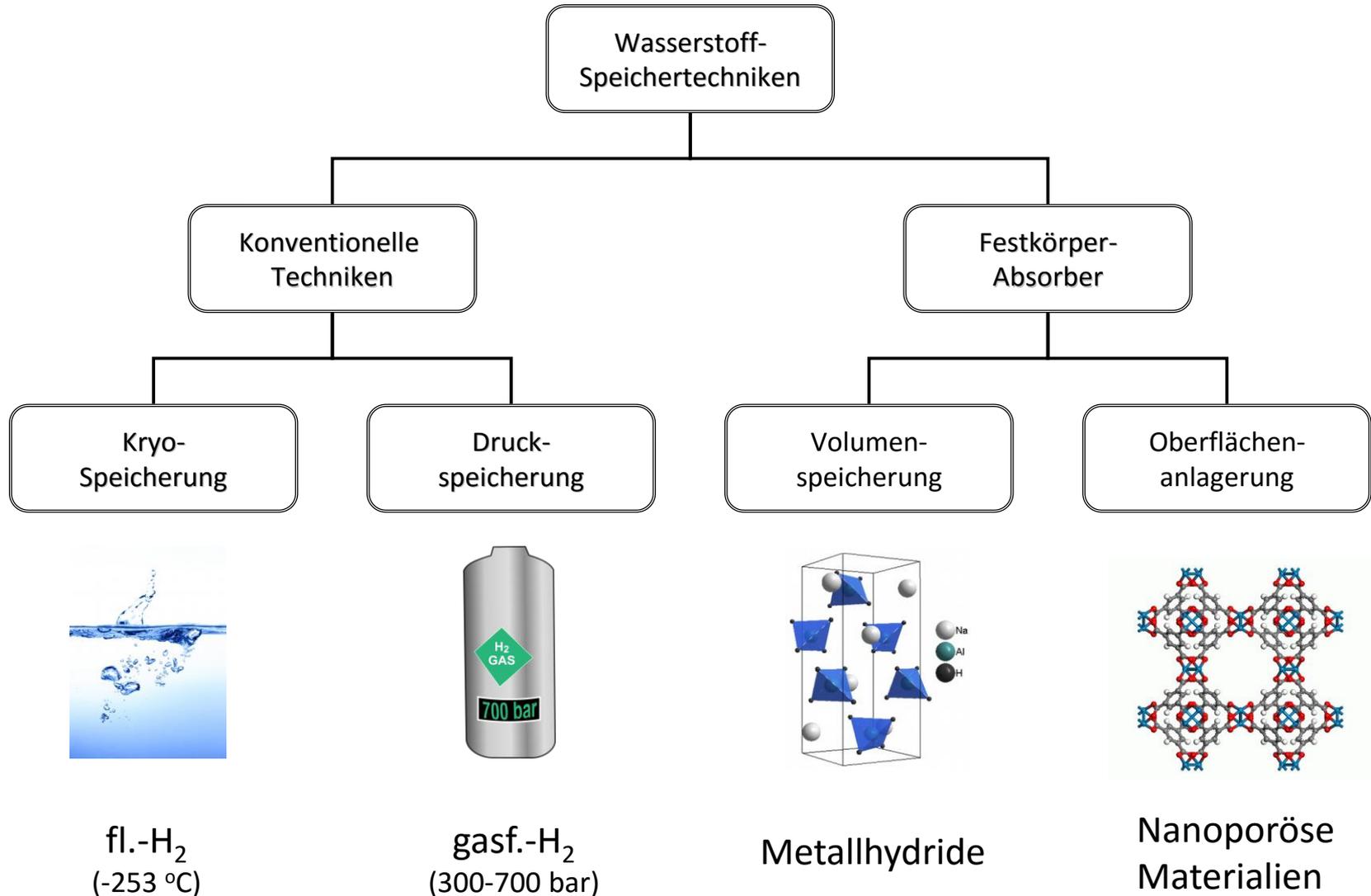
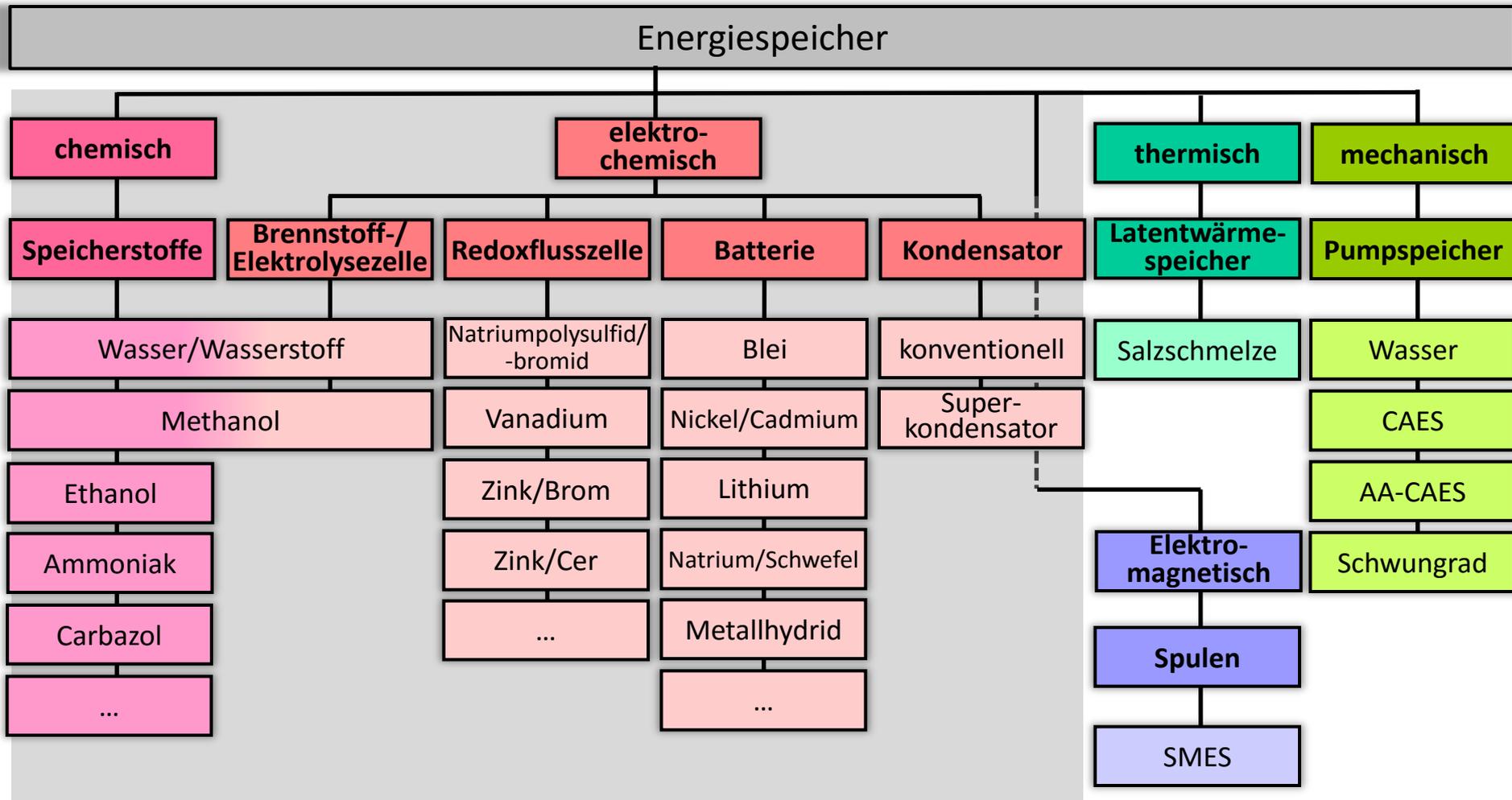


Abbildung 2.1: Energieumwandlungsschritte der nicht-fossilen Wasserstoffherstellung
 Quelle: nach DLR (2006)

“Windwasserstoff”







CAES = Compressed Air Energy Storage
 AA-CAES = Advanced Adiabatic CAES

SMES = Superconducting magnetic energy storage

Speichertechnologien im Vergleich

Gasnetz hat die größten Speicherkapazitäten in Deutschland

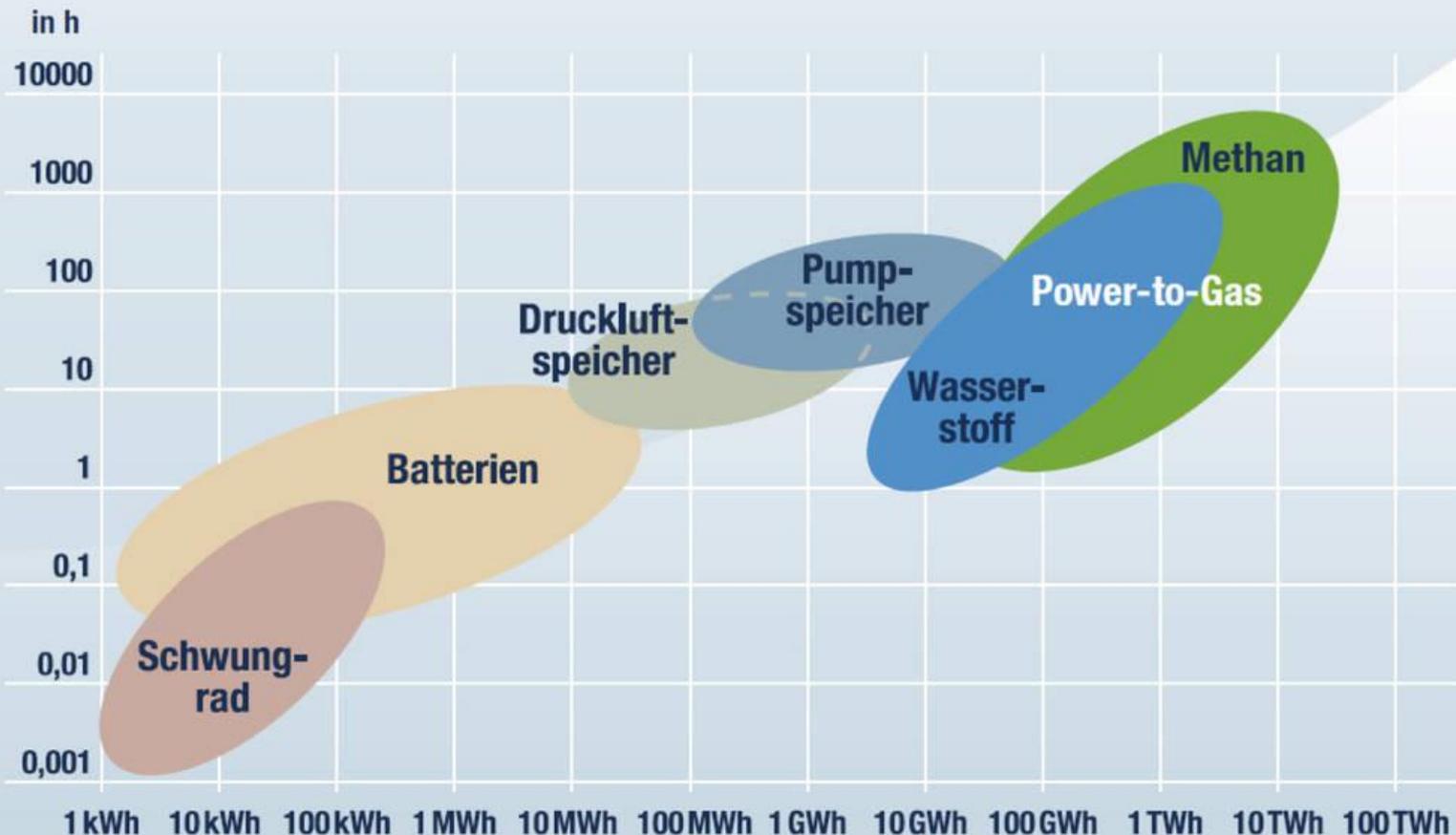


Abbildung 1 · Quelle: DVGW nach FVEE