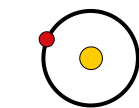


Was ist Wasserstoff?

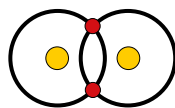
- Wasserstoff - das häufigste Element im Universum
- in nahezu allen organischen Verbindungen zu finden

chemische Eigenschaften:

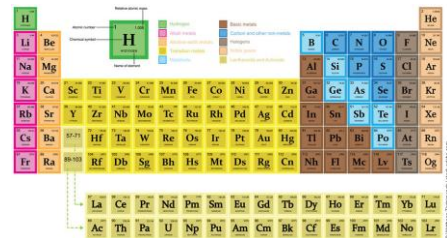
- Element mit der geringsten Atommasse
- Vorkommen hauptsächlich in molekularer Form
- Bestandteil von Wasser und Methan



atomarer
Wasserstoff H



molekularer
Wasserstoff H₂



ID 053113


4

Physikalische Eigenschaften von Wasserstoff

- Element mit der geringsten Dichte
- schlechte Löslichkeit in Wasser und anderen Flüssigkeiten
- höchster Diffusionsgrad und höchste Wärmeleitfähigkeit aller Gase
- Mögliche Wechselwirkung mit Metallen → Wasserstoffversprödung
- Aggregatzustand:
 - gasförmig bei Temp. über - 252,9 °C
 - flüssig bei Temp. zwischen - 252,9 °C und - 259,2 °C
 - fest bei Temp. unter - 259,2 °C

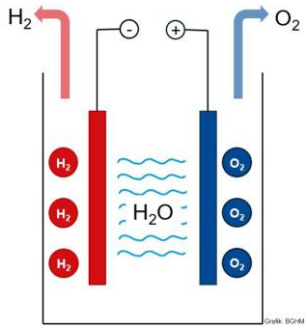
ID 053114

5

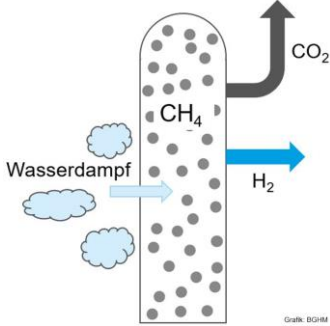


Herstellung von Wasserstoff (H₂)

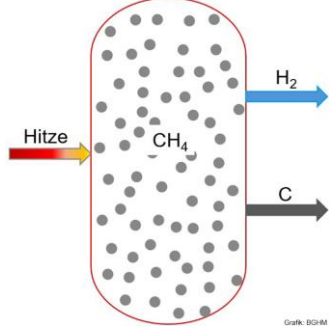
- Abspaltung aus wasserstoffreichem Ausgangsstoff
- unterschiedliche Verfahren zur Wasserstoffgewinnung, z. B.:



Elektrolyse




Dampfreformierung



Methanpyrolyse

ID 053116

7



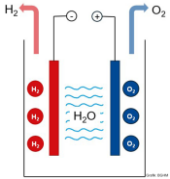
Farbenlehre & Elektrolyse

Charakterisierung nach Herstellungsart

Klimaschädlichkeit

- Grauer Wasserstoff:** Dampfreformierung Methan
- Türkiser Wasserstoff:** Methanpyrolyse
- Blauer Wasserstoff:** Dampfreformierung mit CCS
- Pinker Wasserstoff:** Elektrolyse aus Atomstrom
- Grüner Wasserstoff:** Elektrolyse aus EE
- Weißer Wasserstoff:** natürlicher Ursprung

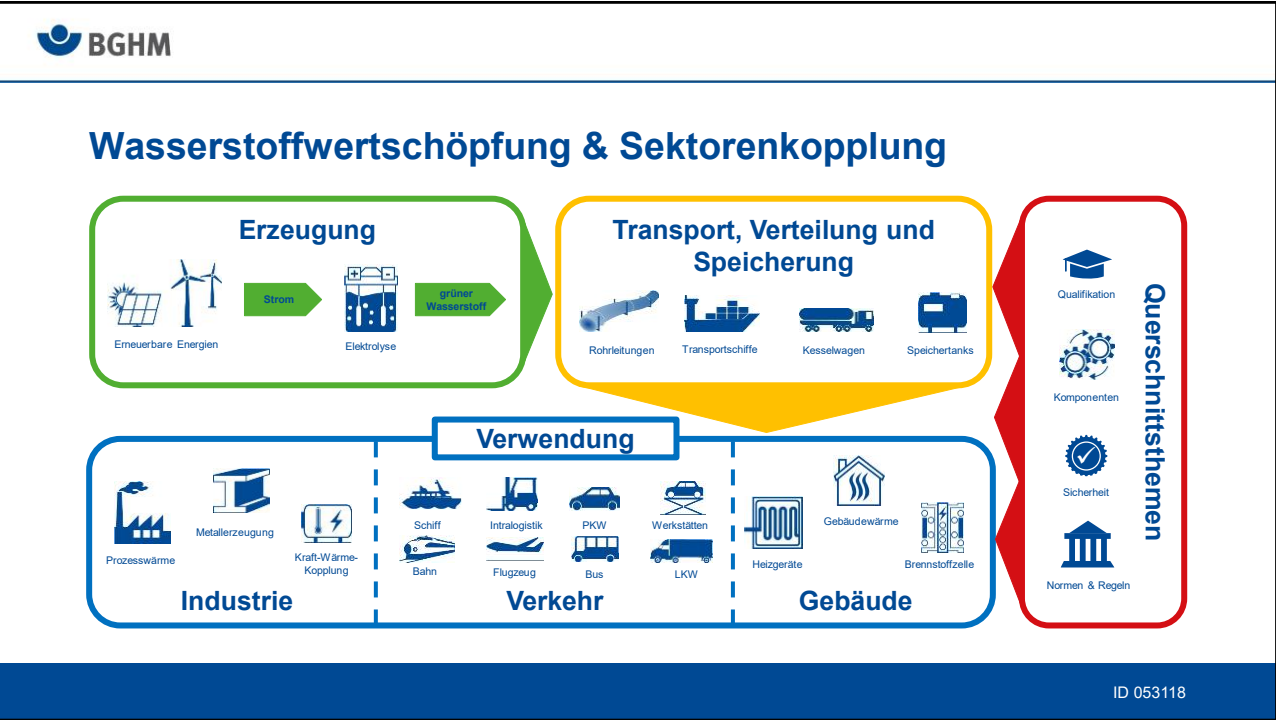
	Alkalische Elektrolyse	PEM-Elektrolyse	Hochtemperatur-Elektrolyse
Reifegrad	TRL 9	TRL 8-9	TRL 6-7
Vorteile	Kostengünstig, langjährige Erfahrung, lange Lebensdauer	Kompakte Bauweise, bessere Dynamik	Effizienter bei Wärmeintegration, Reversibler Einsatz
Herausforderungen	Laugen, Gasaufbereitung	Teure Werkstoffe, Materialanforderungen	Prozess bei hoher Temperatur, hohe Investkosten
Betriebsbedingungen	60 – 80 °C 15 bar	60 – 90 °C 30 bar	700 - 900 °C 10 - 20 bar
Elektrolyt	20 - 40%ige Kalilauge	Protonenleitfähige Kunststoffmembran	Oxidkeramik



Übersicht über Elektrolyseverfahren

ID 050182

8




10

BGHM

Wasserstoff in der Stahlindustrie

- deutsche Stahlindustrie verursacht 7,0 % der CO₂-Emissionen in Deutschland („grauer Riese“)
- ca. 1/4 der europäischen Rohstahlerzeugung in Deutschland
- Stahlerzeugung umfasst zwei Pfade:
 - Primär- und Sekundärstahlherstellung (70 % / 30 %)
 - Primärstahl → Traditionell: Hochofenverfahren mit Kokscoke
- Zukünftig: Einsatz von H₂ zur klimaneutralen Produktion von Stahl
- Herstellung von Eisenschwamm in Direktreduktionsanlage
 - bisher **1600 kg** CO₂ pro t Stahl
 - zukünftig **80 kg** CO₂ pro t Stahl

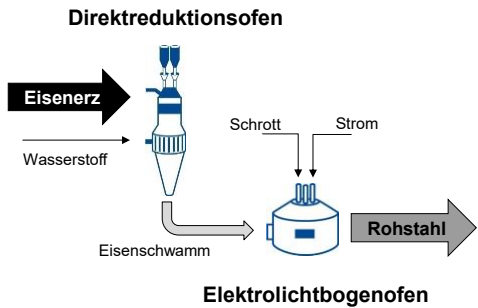
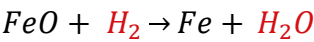


ID 053119

11

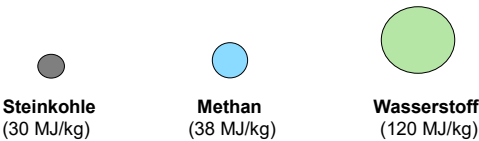
Wasserstoff für die Transformation in der Metallerzeugung

Primärstahlerzeugung (stofflich)



(Sekundär-) Metallurgie (energetisch)

- Umstellung von Thermoprozessanlagen auf Wasserstoff



- Beispiele aus der BGHM-Welt:
 - Hubbalkenofen ([Walzwerke](#))
 - Brennofen ([Aluminium](#))
 - Glühofenanlage ([Stahlbearbeitung](#))

ID 053122

Wasserstoff im Mobilitätssektor

- Antrieb von Fahrzeugen durch Wasserstoff-Brennstoffzellen
- Anwendung sowohl im öffentlichen Nahverkehr als auch im Schienenverkehr, Nutzfahrzeugbereich und im PKW-Bereich, Flurförderfahrzeuge, ...
- Wesentliche Vorteile:
 - Reichweite
 - schnelle Betankung
 - Erhalt der Nutzlast



ID 053124

Wasserstoffspeicherung

Energiedichte (Masse)

Wasserstoff: 33,33 kWh / kg

Lithium-Ionen-Batterie: 0,25 kWh / kg

Energiedichte (Volumen) - Wasserstoff

Gasförmig (1 bar, 20 °C): 0,083 kg / m³

Gasförmig (350 bar, 20 °C): 23,715 kg / m³

Gasförmig (700 bar, 20 °C): 39,75 kg / m³

Flüssiger Wasserstoff (1 bar, - 253 °C): 70,9 kg / m³

Typen von Druckgasflaschen

Typ 1

vollmetallisch (z. B. Stahl)

Typ 2

Metallliner (innen) mit teilweiser Verbundumwicklung

Typ 3

Metallliner (innen) mit vollständiger Verbundumwicklung (Kohlefaser)

Typ 4

Innenlayer (Kunststoff) mit Kohlefaserummantelung

ID 050349

19

Exkurs: Bundesimmissionsschutzgesetz

Anlagen zur Herstellung von Roheisen

- Grundsätzlich ein Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung
- Oberhalb der Schwelle von 2,5 t / h Schmelzkapazität Roheisen, besondere Überwachungsverpflichtungen gemäß § 52a BImSchG zu beachten.

Lagerung, das Be- und Entladen von Wasserstoff

- ab 3 t Wasserstoff → Vereinfachtes Verfahren (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung)
- ab 30 t Wasserstoff → Genehmigungsverfahren (mit Öffentlichkeitsbeteiligung)

Umgang mit Wasserstoff

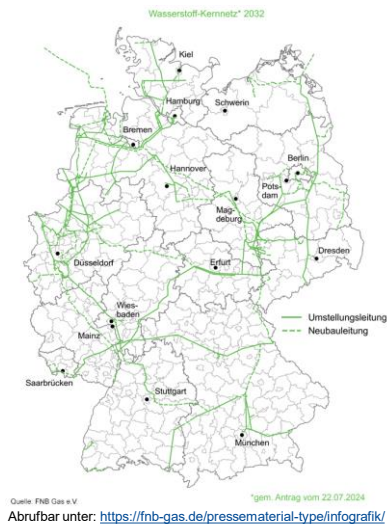
- 5 t Wasserstoff → untere Klasse (Grundpflichten des Betreibers)
- ab 50 t Wasserstoff → obere Klasse (zusätzlich erweiterte Pflichten)

ID 050445

20

Wasserstoffinfrastruktur

- Wasserstoff-Kernnetz
 - 9.666 km (53 % Umwidmung)
 - Gesetzliche Grundlage: § 28q EnWG
- Inbetriebnahme 2025 bis 2032
- Stahlindustrie wurde für Ausspeisung berücksichtigt



ID 053125

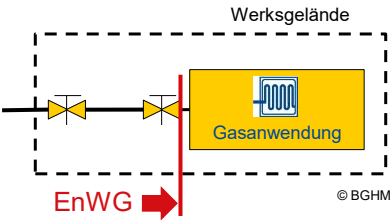
21

Exkurs: Energiewirtschaftsgesetz

Energiewirtschaftsgesetz – EnWG § 49
Anforderungen an Energieanlagen

Ergänzung 2021

- (1) Energieanlagen sind so zu **errichten und zu betreiben**, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Dabei sind vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften die **allgemein anerkannten Regeln der Technik** zu beachten.
- (2) Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik wird **vermutet**, wenn bei Anlagen zur Erzeugung, Fortleitung und Abgabe von ... 2. **Gas und Wasserstoff** die technischen Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. eingehalten worden sind.



- Hinweis:
- EnWG § 113c: Anzeigepflicht für die Umstellung mit gutachterlicher Äußerung eines Sachverständigen – für alle Leitungen unabhängig vom Auslegungsdruck

ID 050446

22

