Herzlich Willkommen zur Themenworkshop-Reihe "Elektrolyse made in Baden-Württemberg"

WORKSHOP 1 - 4: Allgemeine Einführung in die Elektrolysetechnik

Stuttgart, 10/11.2020















Andreas Brinner

// Allgemeine Einführung in die Elektrolysetechnik













// Allgemeine Einführung in die Elektrolysetechnik

- Kurzer Abriss der Wasserstofferzeugung und Nutzung
- Elektrolyseprinzipien (AEL, PEM, AEM, SOEC)
 - ✓ Funktionsprinzip der Elektrolyse
 - ✓ Unterschiedsmerkmale der Technologien
 - ✓ Technischer Stand
 - ✓ Strom-Spannungs-Kennlinie

Von der Elektrolysezelle zur Wasserstoff-Erzeugungsanlage

- ✓ Aufbauprinzipien von Elektrolyseblöcken
- ✓ Bauelemente einer Druckelektrolysezelle
- ✓ Elektrolyseblock
- ✓ Prinzipieller Systemaufbau eines Elektrolyseurs
- √ Wasserstoff-Erzeugungsanlage
- ✓ Technischer Anlagen-Entwicklungsstand

Industrielle Umsetzung der Elektrolysetechnik

- ✓ Vom Einzelanlagenbau zur Serienfertigung
- ✓ Forschungs- und Entwicklungsfelder f
 ür die alkalische Elektrolyse







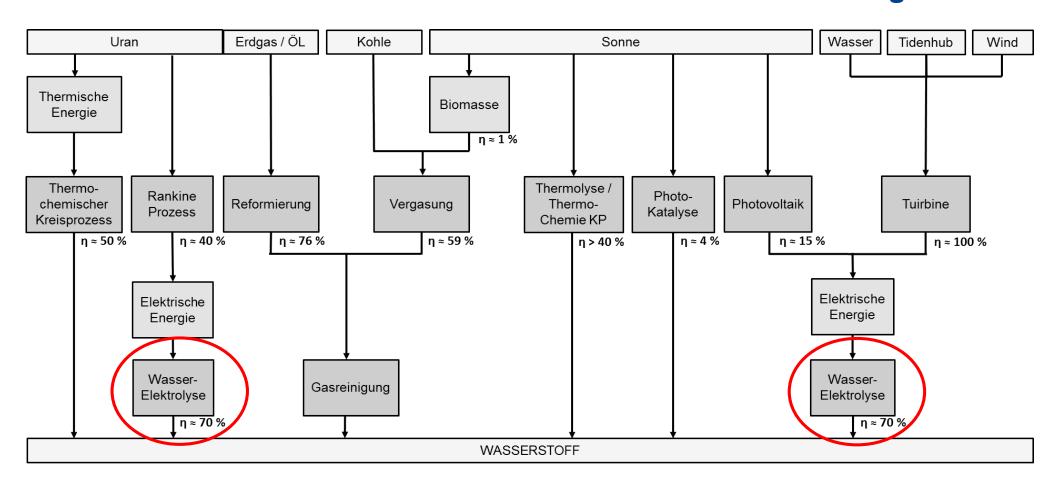






// Kurzer Abriss der Wasserstofferzeugung und Nutzung

Energie-Umwandlungsschritte der fossilen und nicht-fossilen Wasserstoff-Herstellung



 η = mittlerer Umwandlungs-Wirkungsgrad

Quelle: Eigene Darstellung nach GreenGear













// Kurzer Abriss der Wasserstofferzeugung und Nutzung

Einschätzung der System-Wirkungsgrade verschiedener Wasserstoffherstellungsverfahren

Verfahren	μ (H_o)	T _{Betrieb}
Konventionelle alkalische Wasserelektrolyse	65 %	80°C
Verbesserte alkalische Wasserelektrolyse	90 %	150°C
Membranelektrolyse (SPE)	120°C	
Hochtemperatur-Dampfelektrolyse ("Hot Elly")	> 90 %	850°C
Photoelektrolyse	10 %	20°C
Photochemische Wasserstofferzeugung	< 1 %	20°C
Photobiologische Wasserstofferzeugung	?	20°C

Wirkungsgrad der Wandlung von fluktuierender Primärleistung in speicherbare Sekundärenergie wird letztendlich die Nutzung bestimmen

Quelle: J. Blumberg, TU München













// Kurzer Abriss der Wasserstofferzeugung und Nutzung Themengebiete der Wasserstoffnutzung nach Nutzungssektoren

Industrie

- Betrieb von Herstellungsprozessen
- Reduktionsmittel
- Edukt f
 ür chemische Produkte

Mobilität

- PKW
- Bus
- Zug
- LKW
- Logistik-Fahrzeug
- Schiffe
- Flugzeug

Gebäude

- E-Energieerzeugung/ Quartiersbetrieb
- Thermoenergiebereitstellung/ Quartiersbetrieb

Energiebereitstellung flächendeckend

- Mittel-/ langfristiger Chemischer Energie-Zwischenspeicher
- Rückverstromung chemischer Energie







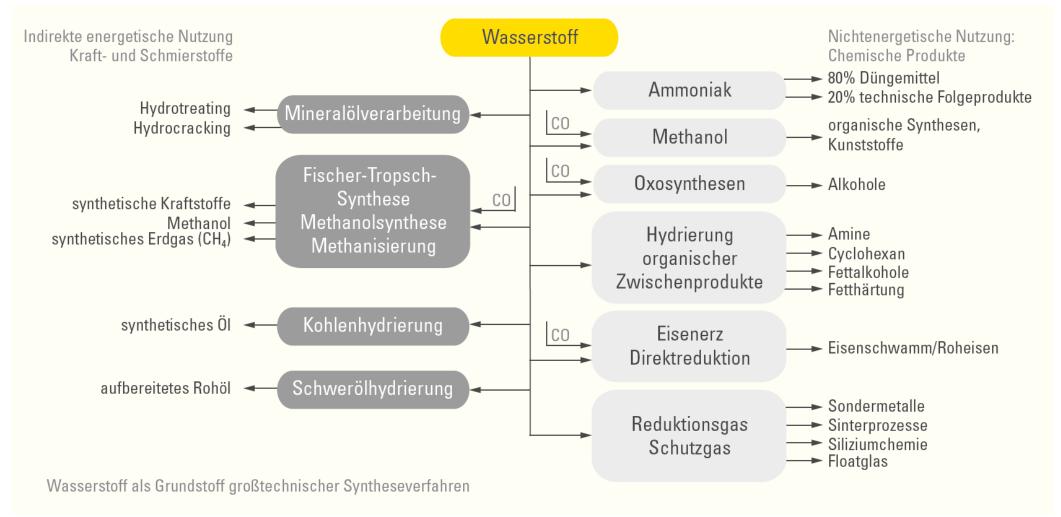






// Kurzer Abriss der Wasserstofferzeugung und Nutzung

Wasserstoff als chemischer Rohstoff für Syntheseverfahren



Quelle: Eigene Darstellung nach [DLR et al. 2002] in E-mobil BW GmbH, 2012 "Energieträger der Zukunft"





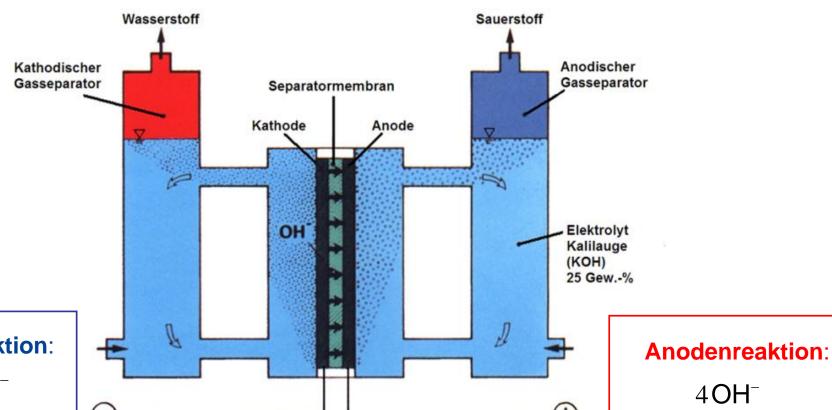








// Funktionsprinzip der Elektrolyse **Beispiel alkalische Elektrolyse**



Kathodenreaktion:

$$4H_{2}O + 4e^{-}$$
 \downarrow
 $2H_{2} + 4OH^{-}$

W. Nicholson & A. Carlisle haben 1800 erstmals die Entstehung von 2 Gasen im Verhältnis 2:1 aus Wasser gezeigt. J. W. Ritter hat 1800 die beiden Gase als Wasserstoff und Sauerstoff mit Knallgasprobe und weißem Phosphor bestimmt.

Quelle:DLR-ZSW-Broschüre "Solarer Wasserstoff -Energieträger der Zukunft", 1.Aufl., 1988

Baden-Württemberg











40H⁻

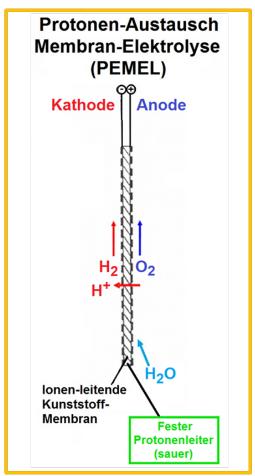
 $O_2 + 2H_2O + 4e^-$

// Konventionelle Grundprinzipien der Elektrolyse

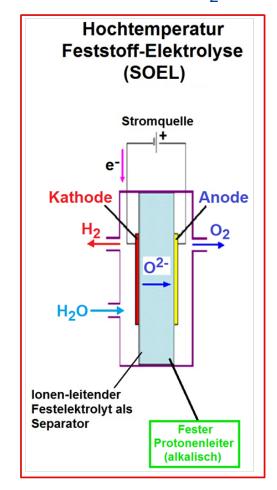
Loser Verbund aus Elektroden & Membran Wasserzufuhr auf H₂-Seite

Alkalische Elektrolyse (AEL) Kathode **Anode** Laugenbeständiger H₂O Kunststoff-Separator Flüssiger **Elektrolyt** (alkalisch)

Fester Elektrodenschichten-Membran-Verbund Wasserzufuhr auf O₂-Seite



Keramikmembran-Platte mit Beschichtungen Wasserzufuhr auf H₂-Seite



nach Quelle: T Ihihara, Kyushu University

nach Quelle: B. Neumann, TU Hamburg-Harburg













// Unterscheidungsmerkmale der Wasserelektrolyse

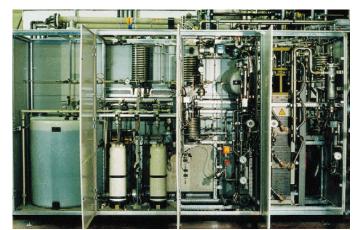
Halbzellenreaktionen, Temperaturbereiche und Ladungsträger der drei wesentlichen Wasserelektrolysen

Techno- logie	Temperatur- bereich	Kathodenreaktion (HER)	Ladungs- träger	Anodenreaktion (OER)
AEL	40 - 90 °C	$2H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + 2OH^-$	OH-	$2OH^- \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^-$
PEMEL	20 - 100 °C	$2H^+ + 2e^- \Rightarrow H_2$	H ⁺	$H_2O \implies \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^-$
HTEL (SOEL)	700 - 1000 °C	$H_2O + 2e^- \Rightarrow H_2 + O^{2-}$	O ²⁻	$O^{2-} \Rightarrow \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$

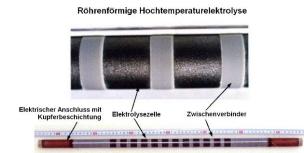
Quelle: T. Smolinka, M. Günther FhG-ISE, J.Garche, FCBAT



Quelle: ELT; www.elektrolyse.de



Quelle: E-ON / SWB



Quelle: R. Hino / JAERI - Japan (angepasst)







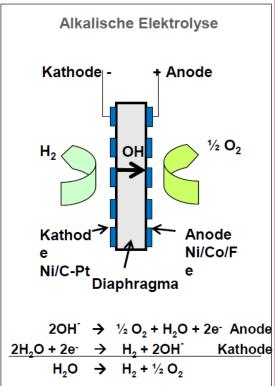






// Technischer Stand

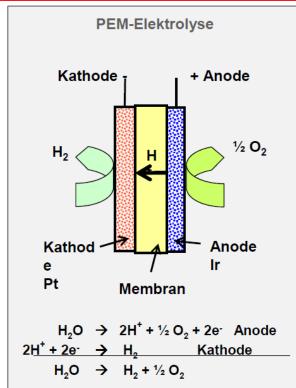
Neue Prinzipien der Wasserelektrolyse, PEM-Prinzip





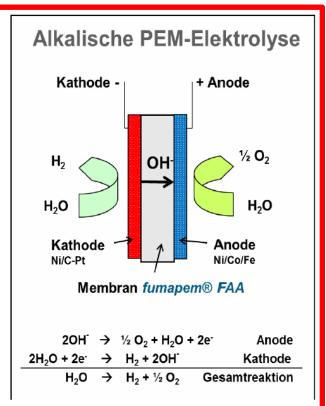
Alkalische Wasserelektrolyse Vorteile:

- •gut entwickelte Technologie
- •keine Edelmetallkatalysatoren
- •hohe Langzeitstabilität



PEM-Wasserelektrolyse Vorteile:

- •höhere Leistungsdichte
- höherer Wirkungsgrad
- •gute Teillastfähigkeit
- einfacher Systemaufbau



Kombination der Vorteile von alkalischer- und PEM-Elektrolyse

MEEs für die alkalische **PEM-Eletrolyse**

Quelle: M. Schuster, B. Bauer FuMaTech. (2014). Entwicklung neuer Membranen für die alkalische Elektrolyse

PEM: Protone Exchange Membrane Electrolysis













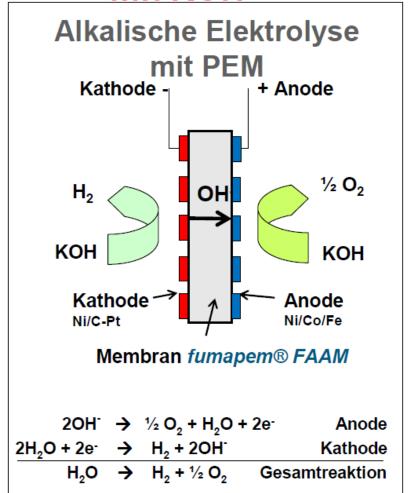
// Technischer Stand

Neue Prinzipien der Wasserelektrolyse, AEM-Prinzip

ohne KOH

Alkalische PEM-**Elektrolyse** Kathode -+ Anode ½ O₂ H₂ OH H₂O H_2O Kathode 1 Anode Ni/C-Pt Ni/Co/Fe Membran fumapem® FAA 20H⁻ → ½ O₂ + H₂O + 2e⁻ Anode $\begin{array}{ccc} 2H_2O + 2e^{-} & \rightarrow & H_2 + 2OH^{-} \\ \hline H_2O & \rightarrow & H_2 + \frac{1}{2}O_2 \end{array}$ Kathode Gesamtreaktion

mit KOH



Quelle: M. Schuster, B. Bauer FuMaTech. (2014). Entwicklung neuer Membranen für die alkalische Elektrolyse

AEM: Anion Exchange Membrane Electrolysis









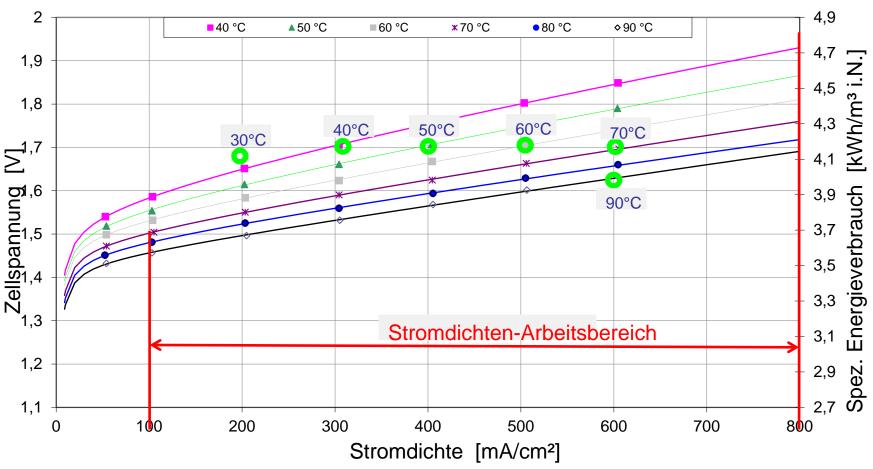




// Strom-Spannungs-Kennlinie

Stand: F&E - aktivierte Elektroden, technisch verfügbar

⇒ Spez. Energieverbrauch < 4,25 kWh/m³_{H2 i.N}









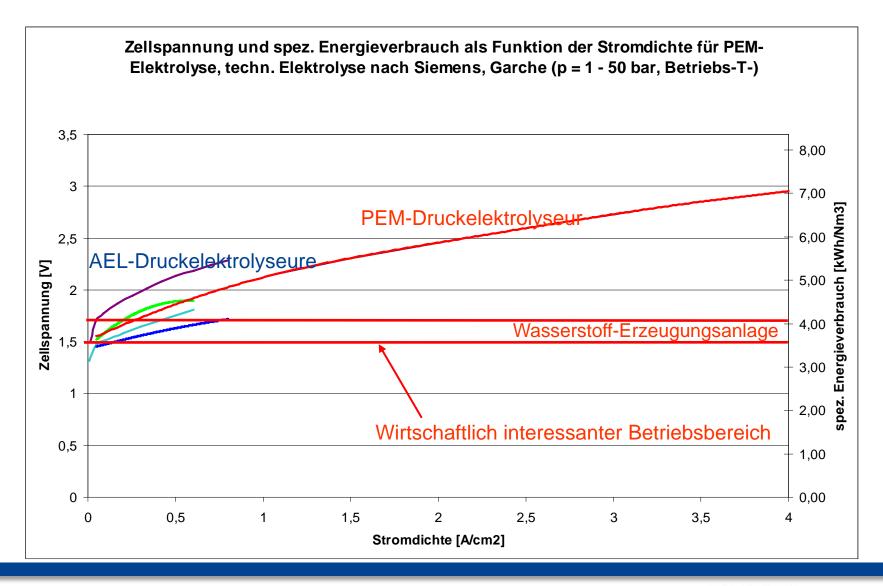






// Strom-Spannungs-Kennlinie

Einordnung kommerzieller H₂-Erzeugungsanlagen (AEL & PEM)









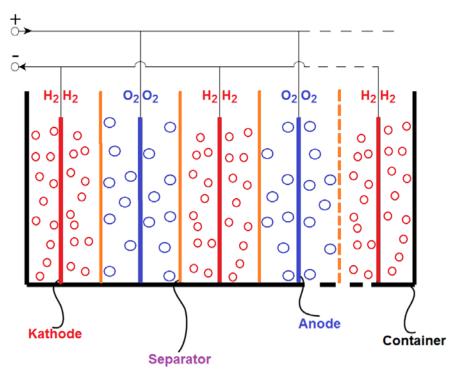




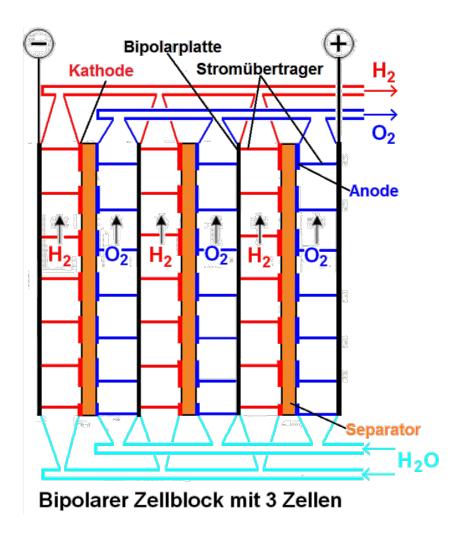


// Funktionsprinzipien von Elektrolyseblöcken

Unipolar - bipolar



Unipolarer Zellblock mit 3 Zellen







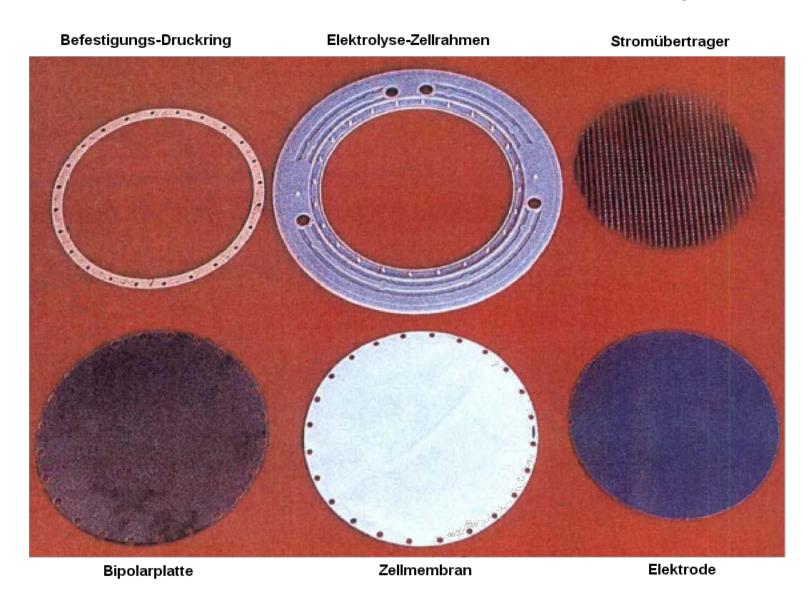








// Bauelemente einer alkalischen Druckelektrolysezelle



Quelle: Rafael di Berruezo, Universidad di Gerona Italien







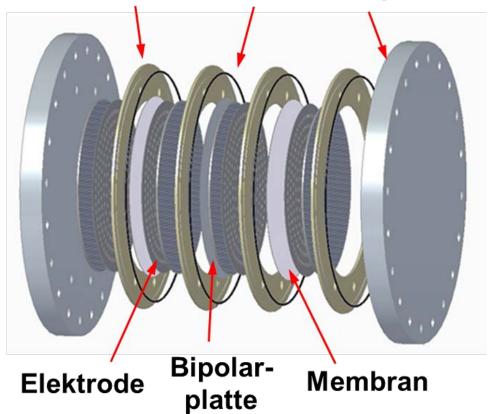






// Kernkomponente Elektrolyse-Block

Zellrahmen Dichtung Endplatte







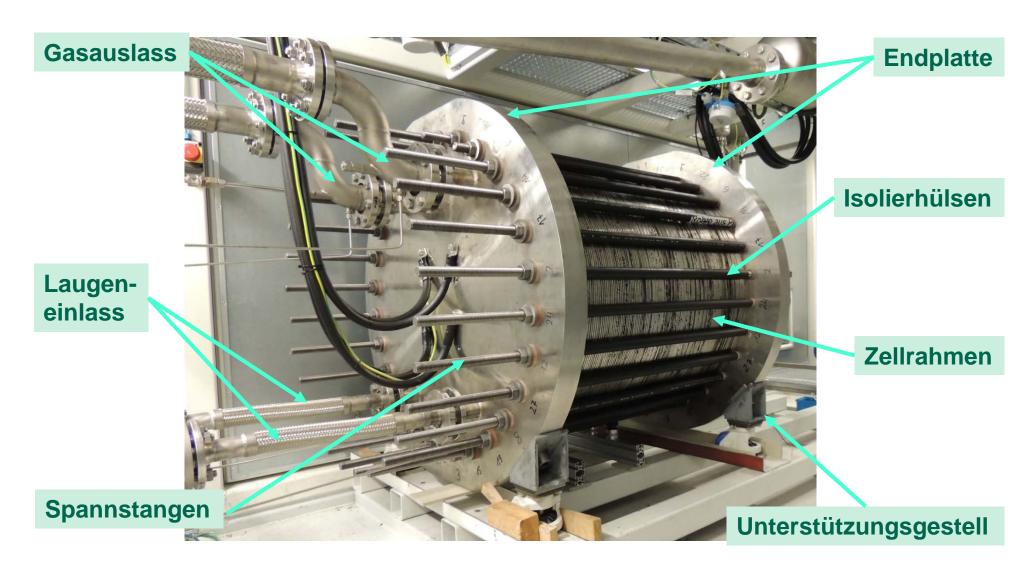








// Kernkomponente Elektrolyse-Block



Alkalischer Elektrolyseblock, 2750 cm²/ 0,25 MW_{el},Projekt P2G-Elektrolyse





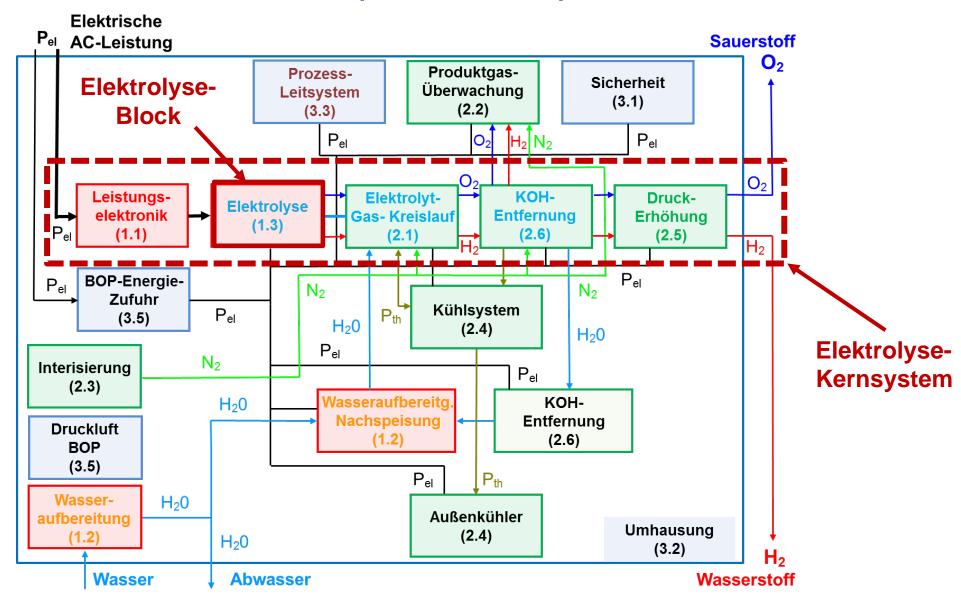








// Prinzipieller Systemaufbau eines Elektrolyseurs (schematisch)







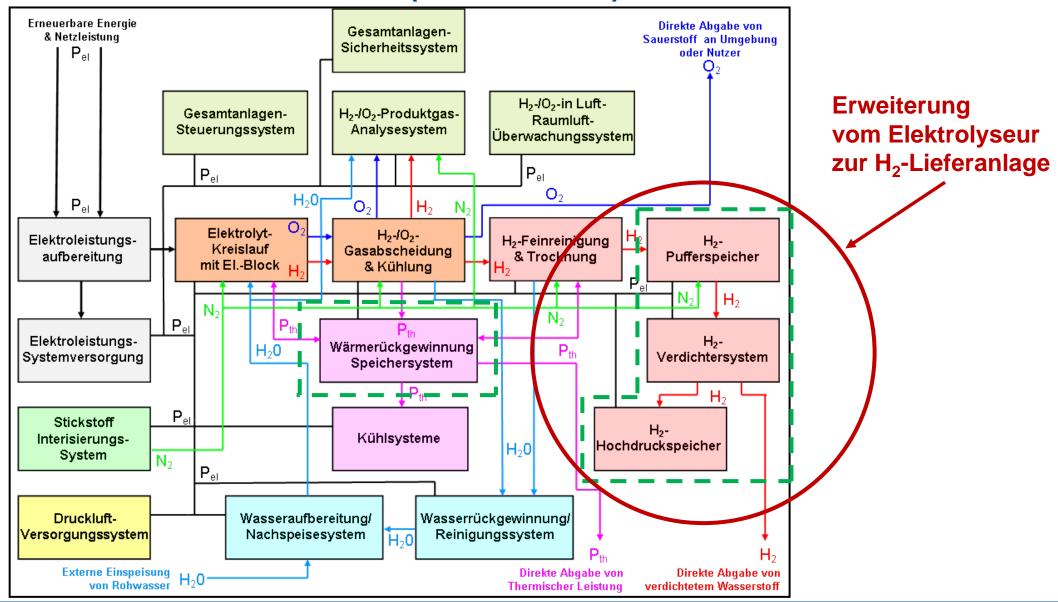








// Prinzipieller Systemaufbau einer Wasserstoff-Erzeugungsanlage (schematisch)







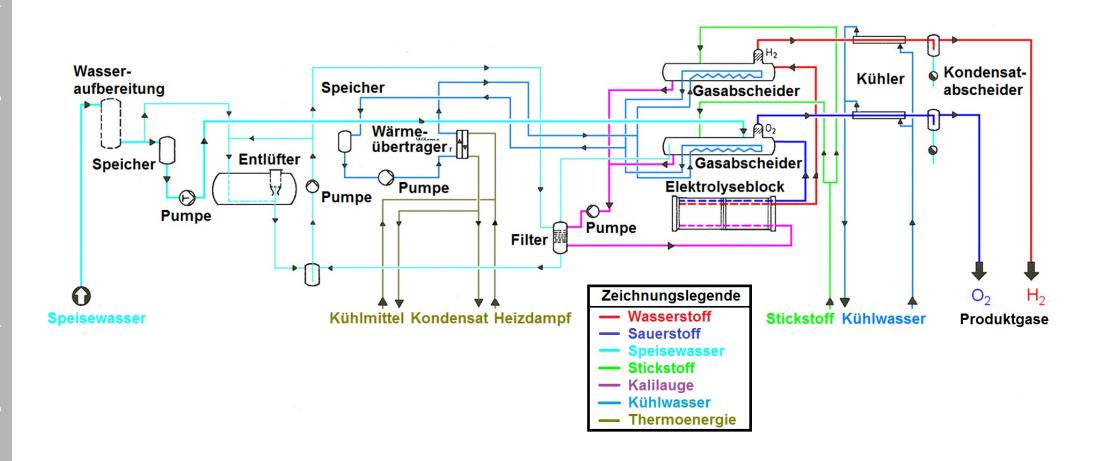








// Wasserstoff-Erzeugungsanlage



Nach Quelle: Lurgi, Fließschema der 30bar Druckelektrolyse







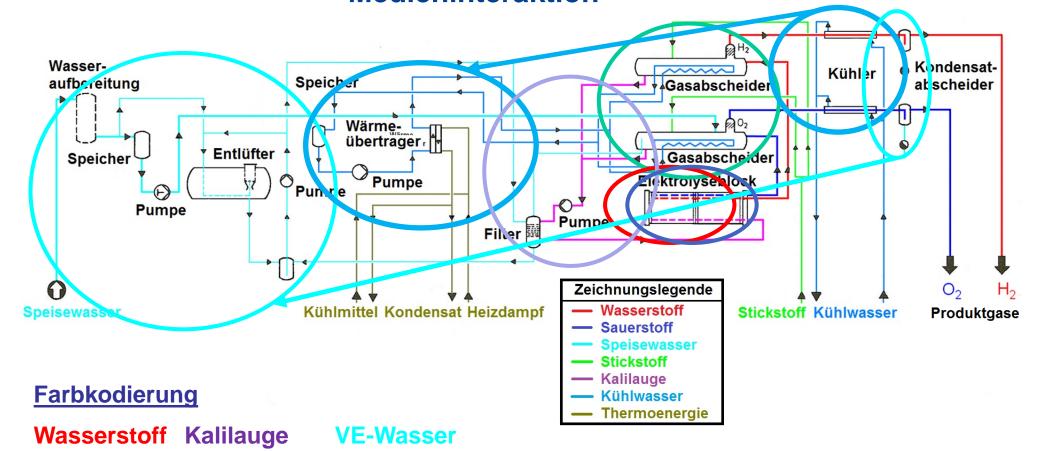






// Wasserstoff-Erzeugungsanlage

Vereinfachtes Fließbild einer kommerziellen 30 bar Anlage Medieninteraktion





Stickstoff



Sauerstoff



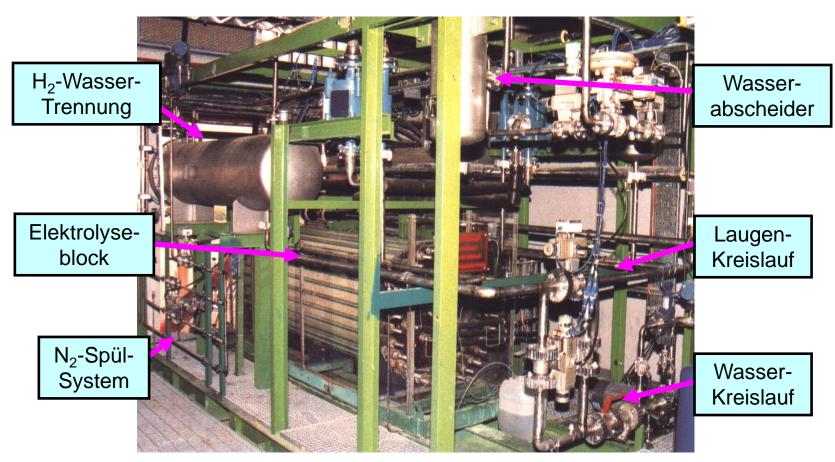
Kühlwasser







Fortschrittlicher alkalischer Druck-Elektrolyseur mit 500 kW elektrische Leistung in Saudi Arabien



Quelle: A. Brinner, DLR-TT, Stuttgart





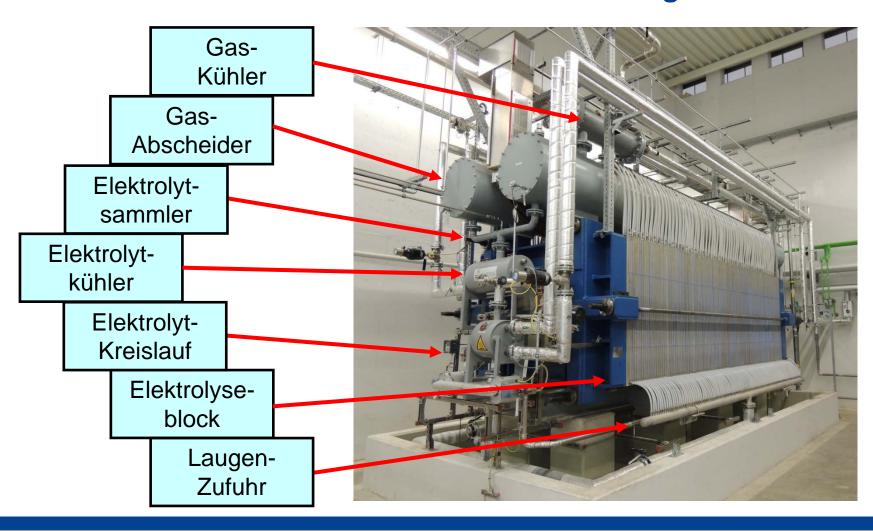








Fortschrittlicher atmosphärischer, alkalischer Elektrolyseur mit 2400 kW elektrische Leistung















6 MW alkalische Elektrolyseanlage mit 3 Einzel-Elektrolyseuren







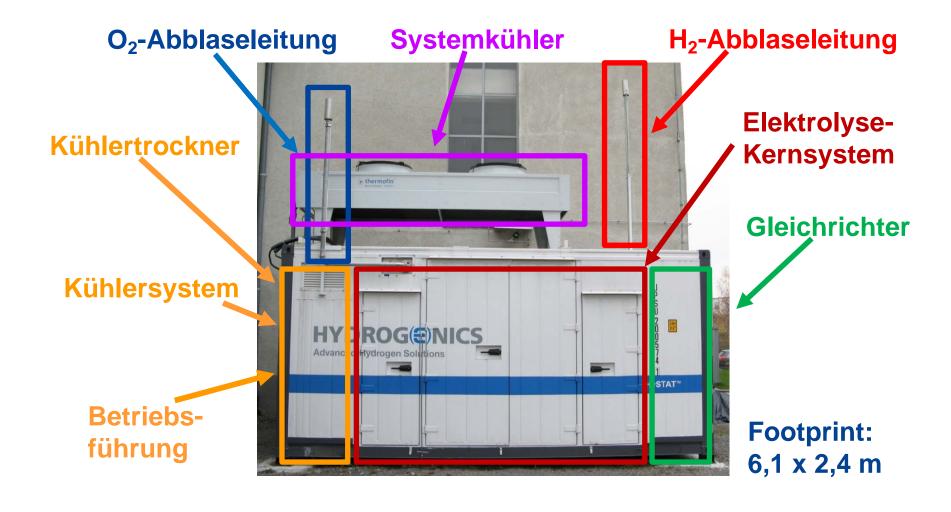








0.32 MW-Kompakt-Druckelektrolyse von Hydrogenics







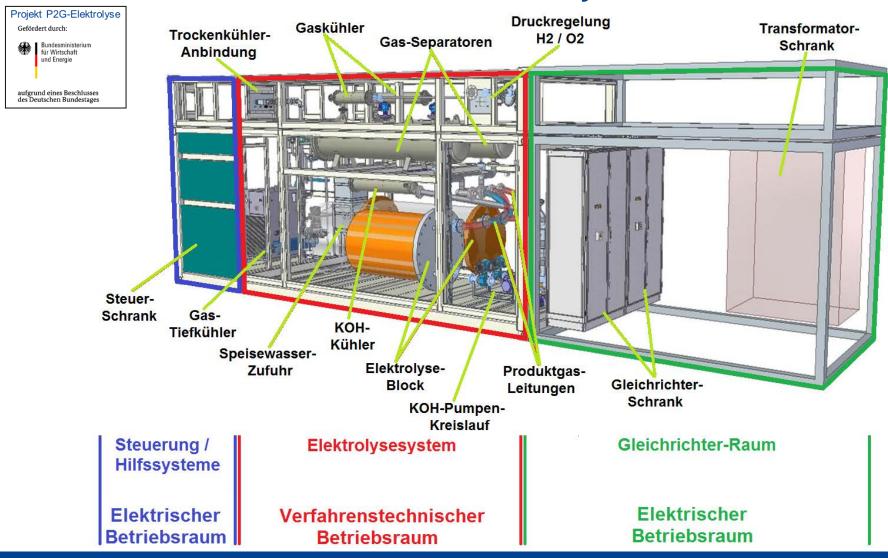








Alkalischer Druckelektrolyseur des ZSW









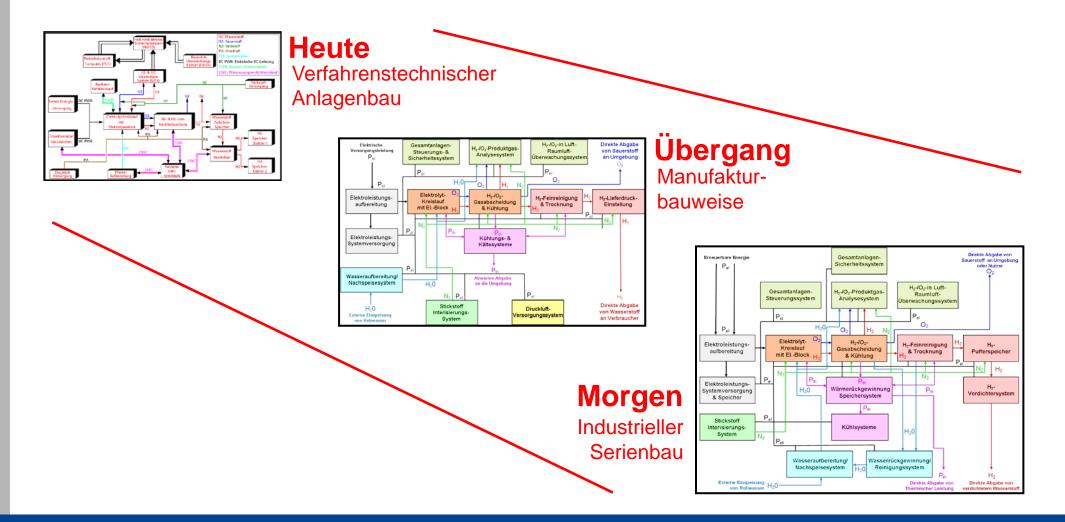






// Industrielle Umsetzung der Elektrolysetechnik

Vom Einzelanlagenbau zur Serienfertigung















// Industrielle Umsetzung der Elektrolysetechnik FuE-Felder für die alkalische Elektrolyse

EFFIZIENZ Verbesserte Materialien im Bereich: Rahmen, Membran, Elektroden

- Betriebstemperaturerhöhung bis 150 °C
- Druckerhöhung bis über 30 bar
- Minimierung des ionischen Widerstandes & des elektrochemischen Energieverbrauchs
- Erhöhung der Differenzdruckfestigkeit

KOSTEN Vereinfachung der verfahrenstechnischen Systemperipherie

- Einsatz von Kunststoffen
- Vereinfachung, Zusammenfassung, Minimierung von Subsystemen
- Reduktion der Komponentenanzahl & Funktionsintegration













// Industrielle Umsetzung der Elektrolysetechnik FuE-Felder für die alkalische Elektrolyse

EINSATZBEREICH Betriebsbereiche, Produktgasqualität, Betriebsstoff-Toleranz

- intermittierender Betrieb (Start/Stopp-Betrieb aus dem Kalt- und Standby-Zustand)
- dynamischer Betrieb (optimale Nutzung eines fluktuierenden Leistungsangebots)
- Erhöhung der Produktgasqualität im dynamischen Betrieb
- Erhöhung der Toleranz gegenüber der Rohwasserqualität (Nutzung von Salzwasser, Brackwasser, stark belastetem Wasser)

AUTONOMITÄT Optimierung des Anlagenbetriebs

- Anlagenbetrieb komplett aus dem Primärenergieangebot (Netzunabhängigkeit)
- Minimierung des Gesamtanlagen-Energieverbrauchs

BETRIEBSKOSTEN Betriebsautomatisierung & Wartungskostenoptimierung LIEFERBARKEIT Industrialisierung der Ergebnisse













// VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

