



## Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle: Eine Ersteinschätzung

Richard Hanke-Rauschenbach, Florian Peterssen

<sup>1</sup>Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

7. BMU-Fachtagung "Klimaschutz durch Abwärmenutzung", 4.11.21

### Gliederung



- Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext der Transformation des Energiesystems
- Wasser-Elektrolyse: Technologischer Blick
- Abschätzungen/Überlegungen zu Abwärme-Potentialen

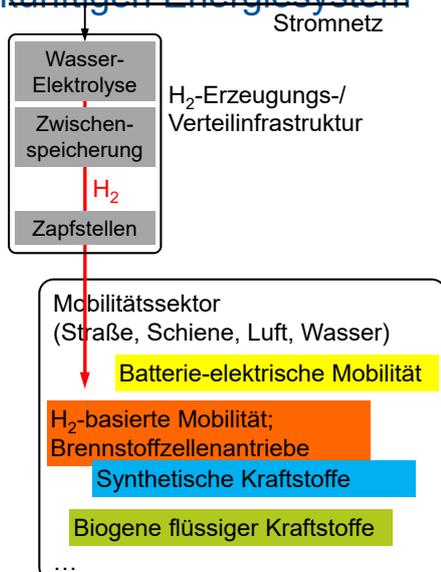
## Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext Transformation des Energiesystems



1. Die Wandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff stellt ein Lösungselement für die Defossilisierung folgender Bereiche dar
  - \* Mobilität
  - \* Grundstoff/Schwerindustrie
  - \* Wärmesektor
2. Wasserstoff ist ein Hilfsmittel/Enabler zum Ausgleich von zeitlichen und örtlichen Unterschieden zwischen Energieverbrauch und Energiedargebot

Wasserstoff wird dabei dauerhaft in Konkurrenz zu alternativen Technologien stehen, die weniger Flexibilität aber höheren Wirkungsgrad bieten

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem



### Funktionalität 1: Lösungselement zu Defossilisierung der Mobilität

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf\*:  
185 Mio t<sub>CO<sub>2</sub></sub> (25% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
720 TWh (30% d. Endenergiebed.)
- H<sub>2</sub>-basierte Mobilität als Teil eines komplementären Ansatzes
- Alternativen zum Einsatz von H<sub>2</sub>
  - \* Einsatz biogener Treibstoffe
  - \* Batterie-elektrische Antriebe
  - \* Einsatz synthetischer Kraftstoffe
- „Nebeneffekt“ durch dynamische Fahrweise der Wasser-Elektrolyse: Bereitstellung von Flexibilitäten für Betrieb des Stromsystems

\*Deutschland, Bezugsjahr: 2014

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem

Leibniz Universität Hannover

**Funktionalität 2: Lösungselement zur Substitution fossilstämmiger Rohstoffe in der Grundstoff-/Schwerindustrie**

Stromnetz

Wasser-Elektrolyse

CO<sub>2</sub>

Reverse Wassergas-shift-Reakt.

H<sub>2</sub>

Schwerindustrie (Stahl, ...)

Chemische Wertschöpfungskette

H<sub>2</sub>

Synthesegas

funktionale C-Bausteine

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf: 60 Mio t<sub>CO<sub>2</sub></sub> (8% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)
- Zwei Ansätze
  - \* Deckung von bestehenden Wasserstoffbedarfen durch grünem/blauen Wasserstoff; Bsp. Raffinerien, Ammoniak-/Methanol-Synthese
  - \* Änderung von bestehenden Prozessrouten unter Einbindung von grünem/blauen Wasserstoff; Bsp. Stahlherstl.
- Auch hier denkbar: Bereitstellung von Flexibilitäten für Betrieb des Stromsystems durch dynamische Fahrweise der Wasserelektrolyse

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021 Seite 5

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem

Leibniz Universität Hannover

**Funktionalität 3: Lösungselement zur Defossilisierung des Wärmesektors**

Stromnetz

Wasser-Elektrolyse

CO<sub>2</sub>

Methanisierung

H<sub>2</sub>

CH<sub>4</sub>

Wärmepumpen; ggf. Widerstandsheizung

Wärmesektor

Rückverstromung (oft KWK)

klass. Heizkessel

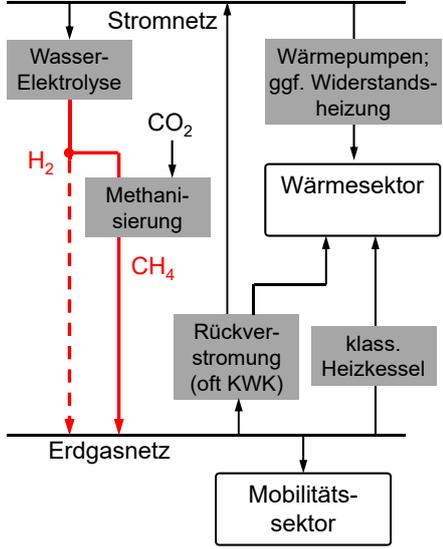
Erdgasnetz

- jährl. Substitutionspotential/-bedarf: 178 Mio t<sub>CO<sub>2</sub></sub> (24% d. CO<sub>2</sub>-Emiss.)  
770 TWh (32% d. Endenergiebed.)
- Weiterkonversion zu synt. Erdgas und Nutzung bestehender Infrastruktur; wichtige Option für die Wärmewende im Altbau
- Alternativ: Verteilung von Wasserstoff und Nutzung in Brennstoffzellenheizgeräten
- Alternativen zum Einsatz von H<sub>2</sub>
  - \* Nutzung nachwachsender Rohstoffe
  - \* Einsatz von Wärmepumpen, ggf. in Komb. mit saisonal. Wärmespeichern
  - \* Nutzung von Geothermie
- Auch hier denkbar: Bereitstellung von Flexibilitäten für Betrieb Stromsystem

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021 Seite 6

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem





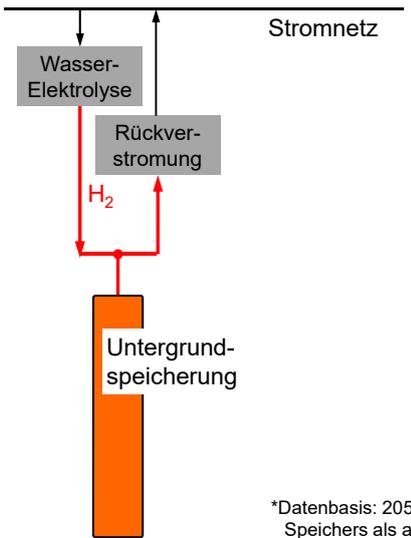
**Funktionalität 4: Lösungselement zur volkswirtschaftlichen Optimierung des Stromnetzausbaus**

- Wandlung von sog. nicht-integrierbarem EE-Strom in H<sub>2</sub> und Verteilung über H<sub>2</sub>-Infrastruktur (bzw. Wandlung in synth. Erdgas und Abgabe ins Erdgasnetz)
- anschließende Nutzung in verschied. Sektoren (insb. Wärmesektor)
- Systemdienlicher Betrieb der Power-to-Gas-Anlage ist notwendig
- volkswirtschaftlich sorgfältig zu bewerten
- Weiterer Vorteil: Infrastruktur lässt sich auch für Import von grünem/blauen Wasserstoff nutzen

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021 Seite 7

## Potentielle Funktionalitäten von H<sub>2</sub> im künftigen Energiesystem





**Funktionalität 5: Lösungselement zur Langzeitspeicherung von erneuerbarer Energie**

- Voraussetzung zur Erreichung hoher erneuerbarer Deckungsgrade; konkret: Überbrückung von sog. Dunkelflauten (10-20 Tage)
- benötigt werden hierfür Speicher mit hoher spez. Kapazität > 250 kWh/kW
- H<sub>2</sub>-basierte Unterspeicherung stellt hierfür eine sinnvolle Lösung dar:
  - ökonomische Sicht\*: < 5 EUR/kWh (Pumpspeicher: ≈ 50 EUR/kWh, Li-Ionen-Akku: ≈ 100 EUR/kWh)
  - Verfüg. Potential: ≈ 1.600 TWh (Pumpspeicher: ≈ 100 GWh)

\*Datenbasis: 2050, berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des Speichers als auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021 Seite 8

## Potentielle Funktionalitäten von ... künftigen Energiesystem

**Lösungselement zur  
Erzeugung von erneuerbarer**

	Ausgewertete Strukturen [-]	Energiegehalt	
		CAES [TWh]	H2 [TWh]
<b>Gesamt</b>	<b>269</b>	<b>4,5</b>	<b>1.614</b>
Berlin / Brandenburg	24	0,5	159
Bremen / Niedersachsen	160	2,0	702
Hamburg / Schleswig-Holstein	44	0,7	413
Mecklenburg-Vorpommern	9	0,6	193
Sachsen-Anhalt	32	0,8	147

BMBF-Projekt InSpEE – Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potenzialabschätzung für die Erzeugung von Salzavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien  
 ... berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des ... auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

Erreichung hoher Wirkungsgrade; Erzeugung von sog. ... (Tage) für Speicher mit > 250 kWh/kWh  
 ... Speicherung  
 ... le Lösung dar: ... EUR/kWh ... EUR/kWh, ... 100 TWh ... ≈ 100 GWh

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021
Seite 9

## Gliederung

- Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext der Transformation des Energiesystems
- **Wasser-Elektrolyse: Technologischer Blick**
- Abschätzungen/Überlegungen zu Abwärmepotentialen

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021
Seite 10

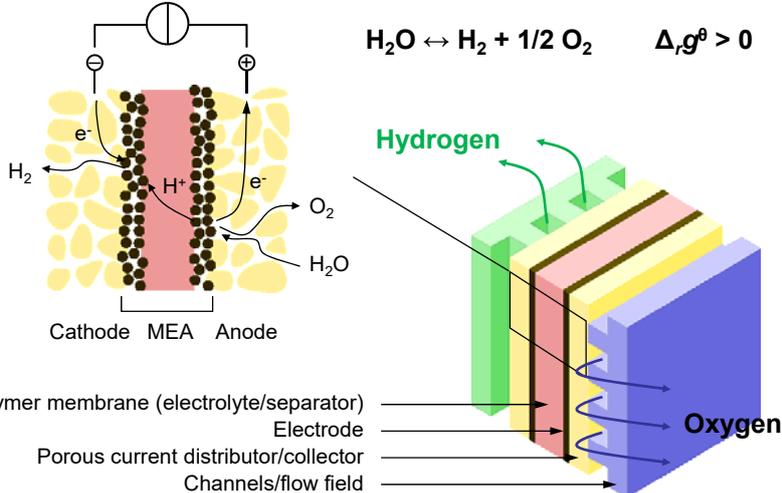
Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-2**



– Schematic diagram of an electrolyser (Example: PEM electrolyser)

$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \quad \Delta_r g^\theta > 0$



Cathode MEA Anode

Hydrogen

Oxygen

Polymer membrane (electrolyte/separator)  
Electrode  
Porous current distributor/collector  
Channels/flow field

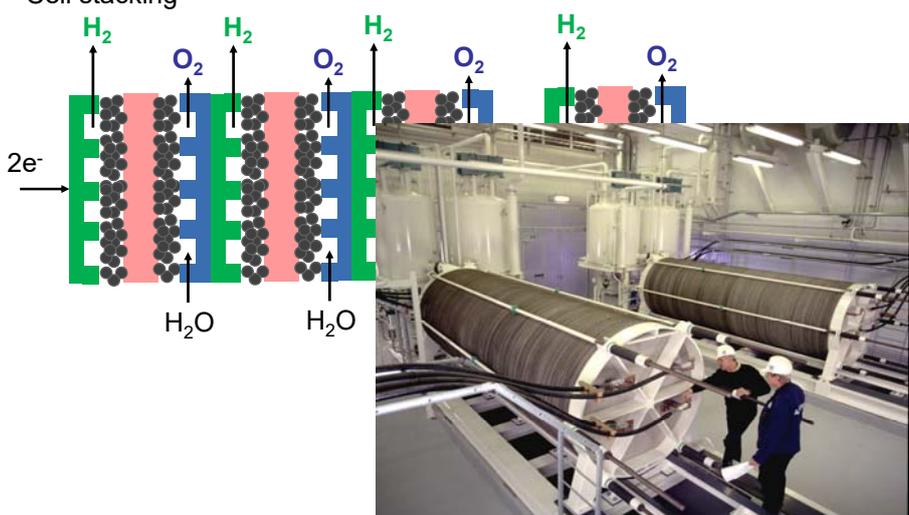
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-3**



– Cell stacking



$2e^-$

$\text{H}_2$   $\text{O}_2$   $\text{H}_2$   $\text{O}_2$   $\text{H}_2$   $\text{O}_2$   $\text{H}_2$   $\text{O}_2$

$\text{H}_2\text{O}$   $\text{H}_2\text{O}$

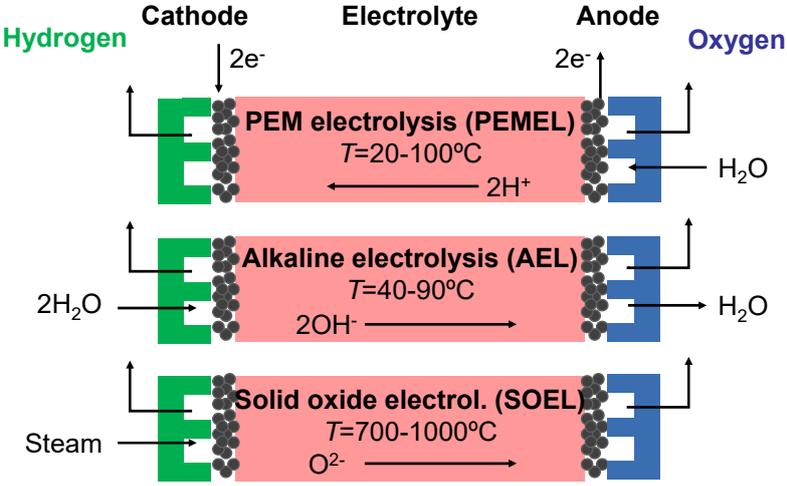
Quelle: <http://www.nel-hydrogen.com/>

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-4



– Classification based on the type of electrolyte



**Hydrogen**      **Cathode**      **Electrolyte**      **Anode**      **Oxygen**

**PEM electrolysis (PEMEL)**  
 $T=20-100^{\circ}\text{C}$   
 $2\text{H}^{+}$

**Alkaline electrolysis (AEL)**  
 $T=40-90^{\circ}\text{C}$   
 $2\text{OH}^{-}$

**Solid oxide electrol. (SOEL)**  
 $T=700-1000^{\circ}\text{C}$   
 $\text{O}^{2-}$

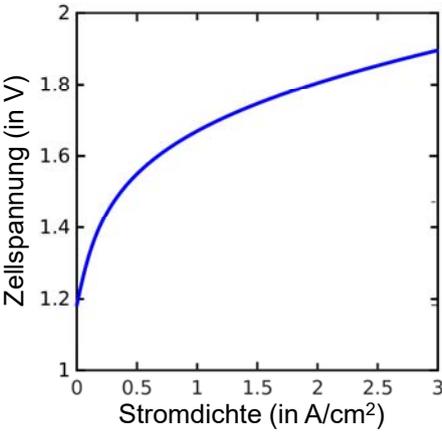
Net reaction:  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$

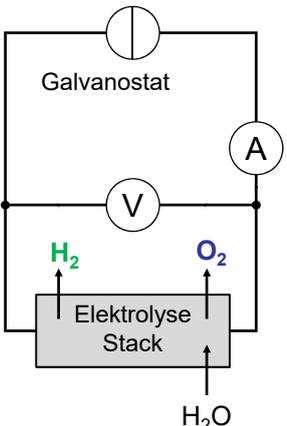
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 6-1



– Polarisationskurve



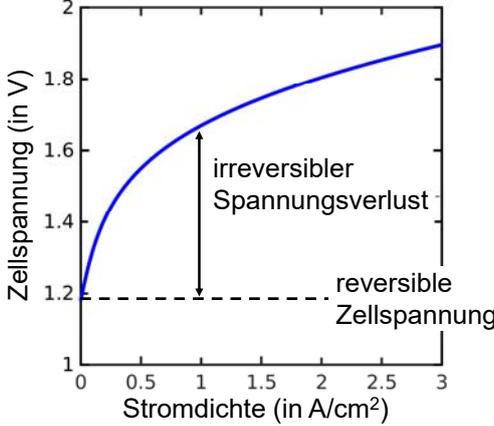


R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 6-2



– Polarisationskurve



$$V_{\text{cell}}^{\text{rev}} = \frac{\Delta_R g(T, p, x_a)}{nF}$$

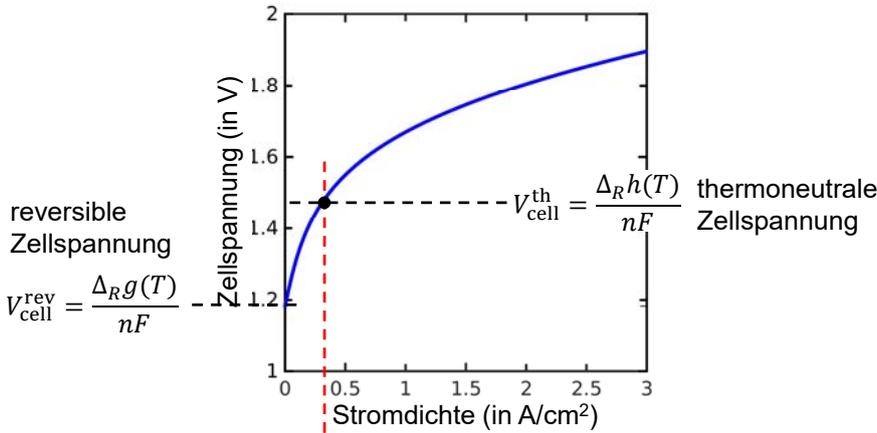
$\text{H}_2\text{O}(l) \leftrightarrow \text{H}_2(g) + 1/2 \text{O}_2(g)$   
 $T=353.15 \text{ K}, p=101.325 \text{ kPa}$

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 6-23



– Heating/Cooling policy



$$V_{\text{cell}}^{\text{rev}} = \frac{\Delta_R g(T)}{nF}$$

reversible Zellspannung

$$V_{\text{cell}}^{\text{th}} = \frac{\Delta_R h(T)}{nF}$$

thermoneutrale Zellspannung

Wärmeezufuhr nötig,  $Q > 0$ 
Wärmeabfuhr nötig,  $Q < 0$  (zugeführte Energie größer als Reaktionsenthalpie)

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-8

– Alkaline Electrolysis (AEL)

Cathode:

$$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$$

Anode:

$$2\text{OH}^- \leftrightarrow 1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^-$$

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-9

– Alkaline Electrolysis (AEL)

Perforated electrode, made of Ni-plated Fe, Fe, Ni, nickel sulfide or Raney nickel

$T = 50-80^\circ \text{C}$   
 $i = 200-500 \text{ mA/cm}^2$

Asbestos free; Glass reinforced polyphenylene sulfide (PPS)

20-40 wt% potassium hydroxide solution

Zeng and Zhang (2010) *Progress in Energy and Combustion Science* 36, 307

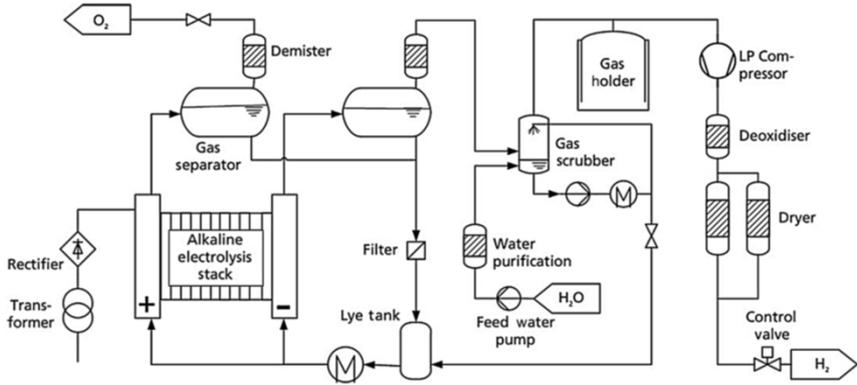
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-11**



– Typical AEL system layout (simplified)



Quelle: Smolinka, T. et al; Hydrogen Production from Renewable Energies - Electrolyzer Technologies, in: Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, Elsevier (2015)

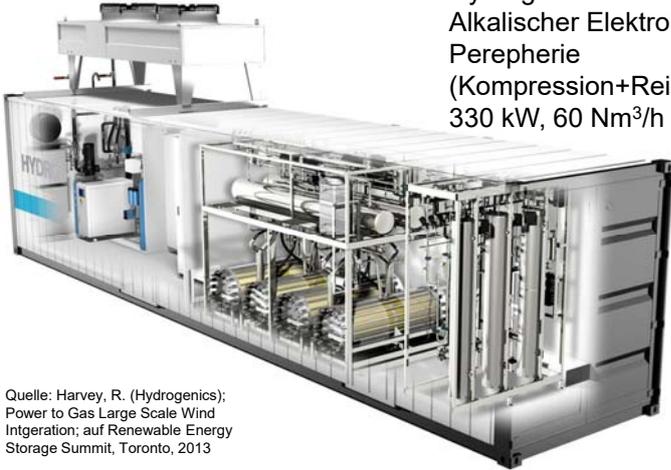
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-12**



– Typical AEL system layout (simplified)



**Hydrogenics**  
**Alkalischer Elektrolyseur +**  
**Perepherie**  
**(Kompression+Reinigung)**  
**330 kW, 60 Nm<sup>3</sup>/h**

Quelle: Harvey, R. (Hydrogenics); Power to Gas Large Scale Wind Intergration; auf Renewable Energy Storage Summit, Toronto, 2013

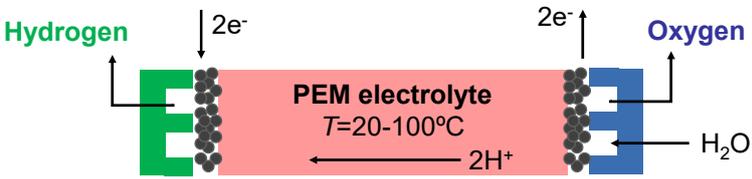
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

Blatt 5-17



– PEM Electrolysis (PEMEL)



Cathode:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2$       Anode:  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \leftrightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

- Materials – Similar to PEM fuel cells (e.g. [1,2]):
  - Cathode (few  $\mu\text{m}$ ): platinum nanoparticles supported on carbon
  - Anode (few  $\mu\text{m}$ ): Iridium or Iridium-Oxide  
no Carbon-based materials, instead: Titanium, coated stainless steel
  - Electrolyte (50-200  $\mu\text{m}$ ): functional groups of sulfonic acid ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), e.g. Nafion

[1] Rasten et al. (2003) *Electrochimica Acta* 48, 3945  
[2] Lessing (2007) *J. Mater. Sci.* 42, 3477

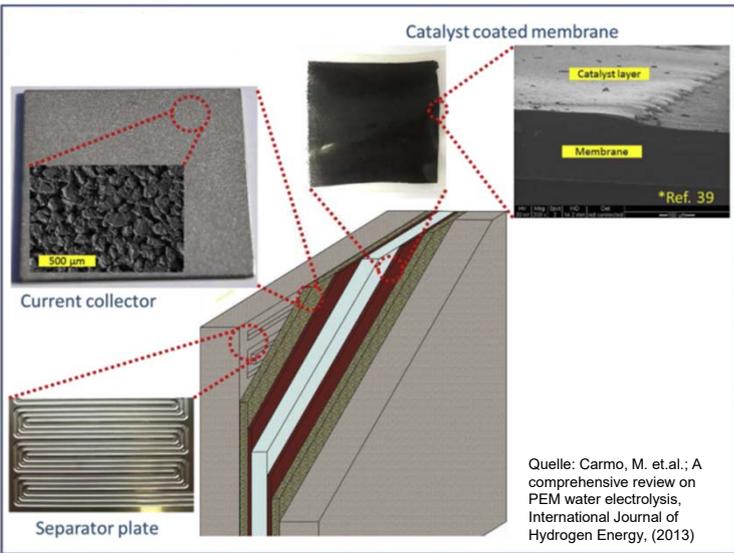
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

Blatt 5-18



– PEM Electrolysis (PEMEL)



Quelle: Carmo, M. et al.; A comprehensive review on PEM water electrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*, (2013)

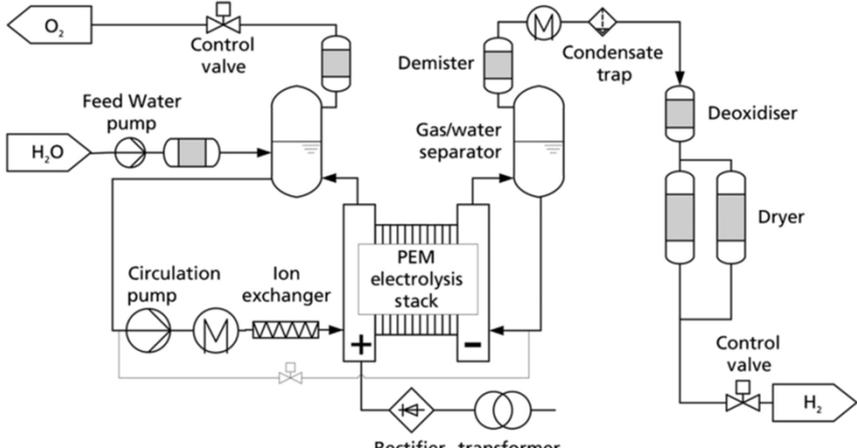
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-19**



– Typical PEMEL system layout (simplified)



Quelle: Smolinka, T. et.al; Hydrogen Production from Renewable Energies - Electrolyzer Technologies, in: Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, Elsevier (2015)

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

**Blatt 5-20**



– Typical PEMEL system layout (simplified)



ITM  
PEM Elektrolyseur + Peripherie  
(Kompression+Reinigung)  
300 kW – 1 MW Container  
60 Nm<sup>3</sup>/h @ 300 kW (Nennpunkt)

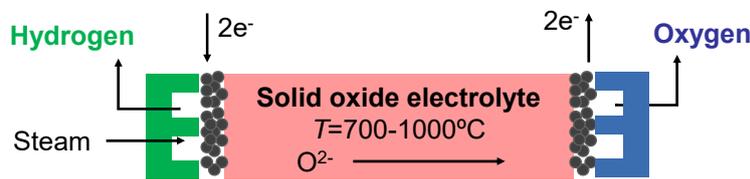


Quelle: [www.itm-power.com](http://www.itm-power.com), 12.05.2015

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-5 

– Solid Oxide Electrolysis (SOEL)



**Cathode:**  $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{O}^{2-}$ 
**Anode:**  $\text{O}^{2-} \leftrightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$

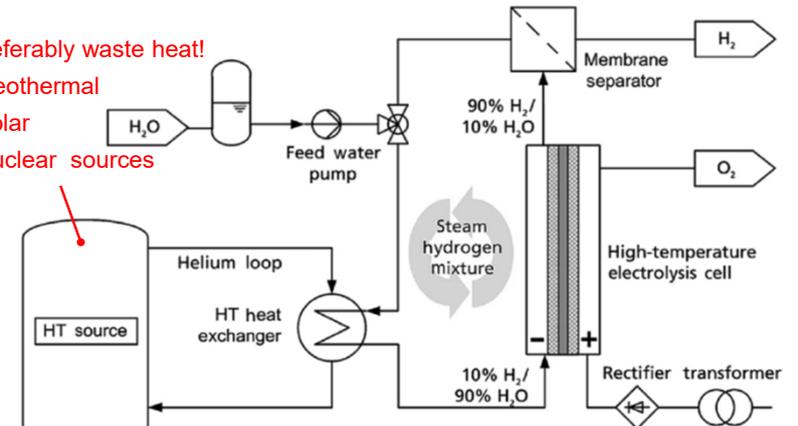
- Materials – Similar to solid oxide fuel cells (e.g. [1,2]):
  - Electrolyte (100-250 μm): Ytria-stabilized zirconia (YSZ)
  - Cathode (ca. 100 μm): Ni/Ni - or Ni/YSZ -cermet...
  - Anode (ca. 40 μm): YSZ, Lanthanum manganite (LaMnO3) or lanthanum ferrite (LaFeO3), doped with strontium for higher activity
- Tubular and planar designs (higher power density but sealing issues!)

[1] Lessing (2007) *J. Mater. Sci.* 42, 3477  
 [2] Smolinka, (2009) in *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, 394

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-6 

– Typical SOEL system layout (simplified)



Preferably waste heat!

- Geothermal
- Solar
- Nuclear sources

Quelle: Smolinka, T. et al; Hydrogen Production from Renewable Energies - Electrolyzer Technologies, in: Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing, Elsevier (2015)

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

## Gliederung



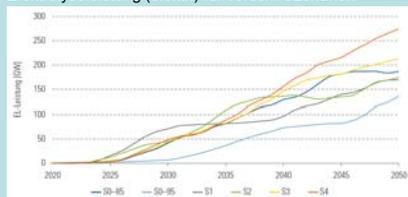
- Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext der Transformation des Energiesystems
- Wasser-Elektrolyse: Technologischer Blick
- **Abschätzungen/Überlegungen zu Abwärme-Potentialen**
  - Abwärmeleistung
  - Betriebsführung resultierende Arbeit
  - Kostenstrukturen

## Installierte Elektrolyseleistung



### IndWEDe Studie – 2018 [1]

Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien

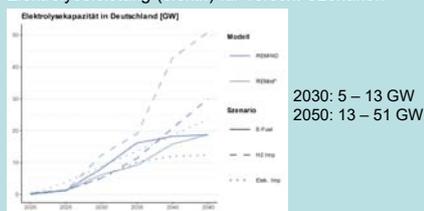


Elektrolyseleistung vor allem abhängig von:

- Emissionszielen (weniger CO<sub>2</sub> → mehr Ely)
- Importpotential für H<sub>2</sub> und E-Fuels (weniger Import → mehr Ely)
- Lokale EE Potentiale (weniger EE → weniger Ely)

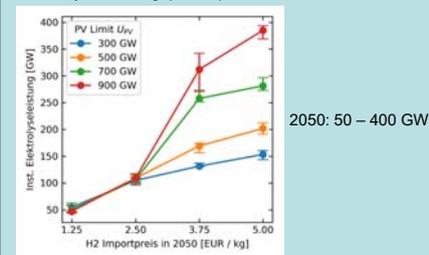
### Ariadne Report – 2021 [2]

Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien



### Eigene Arbeit – 2021 [in prep]

Elektrolyseleistung (elektr.) in 2050 für versch. Szenarien

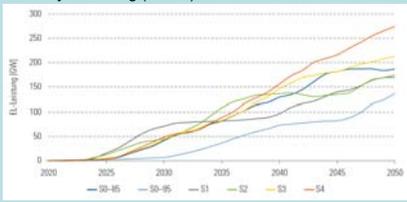


[1] T. Smolinka et al., "Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme.", Berlin, Jun. 2018.  
 [2] G. Luderer et al., "Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.", Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Oct. 2021.

## Installierte Elektrolyseleistung



**IndWEDe Studie – 2018 [1]**  
Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien



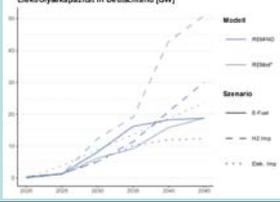
2030: 10 – 75 GW    2050: 135 – 275 GW

Elektrolyseleistung (elektr.) in 2050 für versch. Szenarien

- Emissionen (wenig)
- Importe (wenig)
- Lokale Erzeugung (wenig)

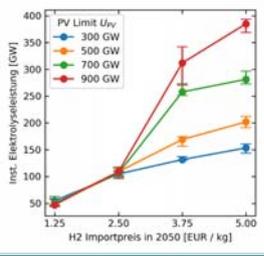
Von elektr. Eingangsleistung ca. 70% in H<sub>2</sub> und 30% Verluste.  
Annahme: davon 2/3 nutzbar → 20% der Eingangsleistung als Abwärme nutzbar

**Ariadne Report – 2021 [2]**  
Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien



2030: 5 – 13 GW  
2050: 13 – 51 GW

**Eigene Arbeit – 2021 [in prep]**  
Elektrolyseleistung (elektr.) in 2050 für versch. Szenarien



2050: 50 – 400 GW

[1] T. Smolinka et al., "Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme.", Berlin, Jun. 2018.  
[2] G. Luderer et al., "Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.", Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Oct. 2021.

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021
Seite 29

## Jahresarbeit



Jährliche Abwärmemenge zusätzlich abhängig von Volllaststunden (VLS) der Elektrolyse

**IndWEDe Studie – 2018 [1]**

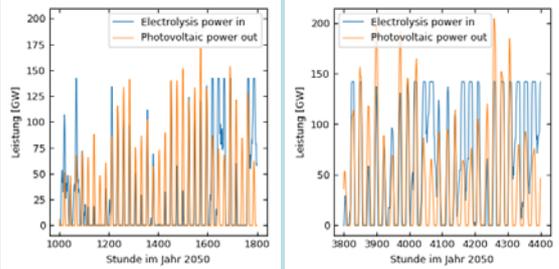
- VLS in 2050: 1900 – 3200 h
- Abwärmemenge in 2050: **70 – 110 TWh**

**Eigene Arbeit – 2021 [in prep]**

- VLS in 2050: 1800 – 2800 h
- Abwärmemenge in 2050: **30 – 150 TWh**

**Ariadne Report – 2021 [2]**

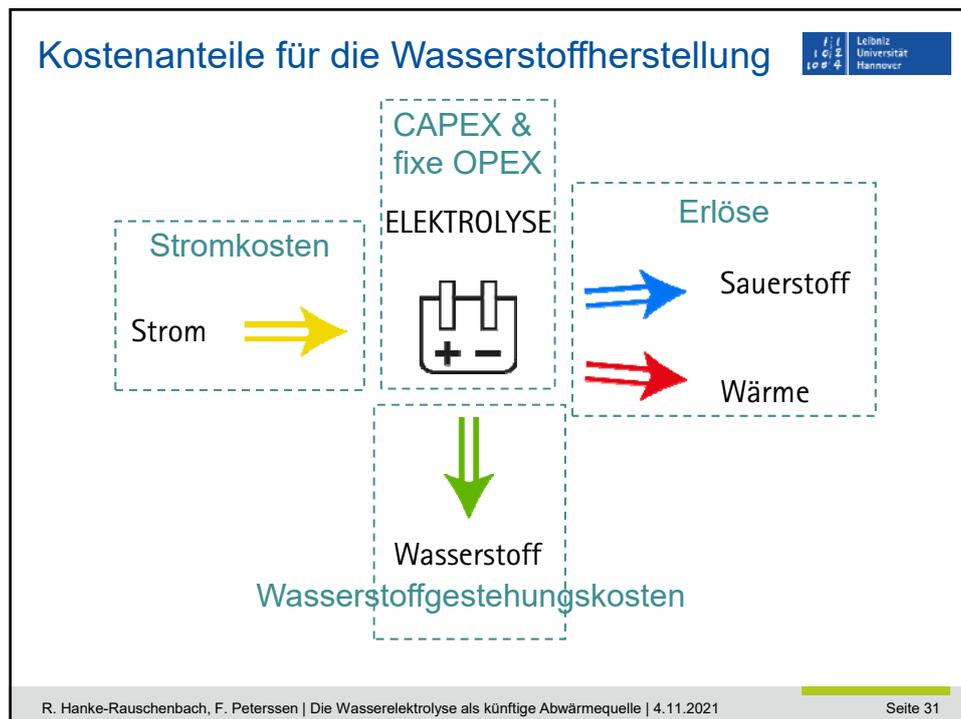
- VLS in 2050: 1010 – 8460 h
- Abwärmemenge in 2050: **9 – 22 TWh**



Elektrolyseprofil folgt deutlich der PV-Einspeisung  
→ Nachts und im Winter geringeres Abwärmepotential

[1] T. Smolinka et al., "Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme.", Berlin, Jun. 2018.  
[2] G. Luderer et al., "Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.", Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Oct. 2021.

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021
Seite 30



### Kostenanteile für die Wasserstoffherstellung \\ Dateninput, Annahmen

Parameter für die Elektrolyse / den Elektrolysebetrieb

Parameter	Wert	Einheit
Installationskosten	6257	€/(Nm <sup>3</sup> /h)
Volllaststunden	4500	h
Lebensdauer	44000	h
kalk. Zinssatz	5	%
Strombezugspreis	32.78	€/MWh
besondere Netzentgeltbestandteile	10.11	€/MWh
Netzentgelt	-	€/MWh
Stromsteuer	-	€/MWh
EEG Umlage (entfällt evtl.)	65	€/MWh
elektr. Energieverbrauch	4.8	kWh/Nm <sup>3</sup>

R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021 Seite 32

## Kostenanteile für die Wasserstoffherstellung \\ Dateninput, Annahmen

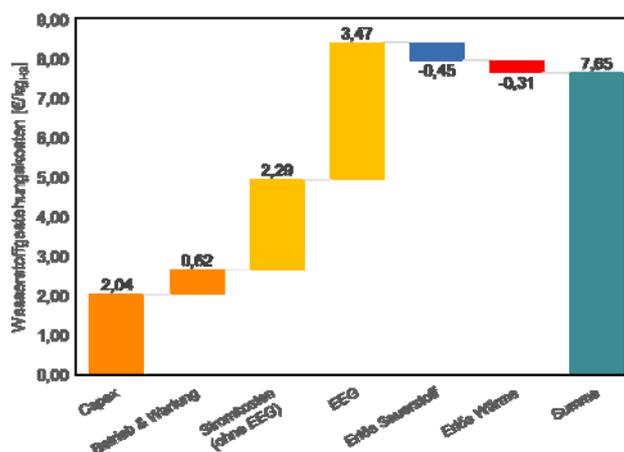


Parameter für die Erlöse durch Sauerstoff und Wärme

Parameter	Wert	Einheit
Sauerstoffbedarf	3846	Nm <sup>3</sup> /h
Stromverbrauch Gebläse (jährlich)	5352505	kWh
Stromkosten Gebläse	177.5	€/MWh
Sauerstoffausnutzungsgrad <sup>1</sup>	2,5	
Wärmeerlös	25	€/MWh <sub>th</sub>
Anteil Nutzbare Wärme	0.9	

<sup>1</sup> Ein kg reines O<sub>2</sub> ersetzt 2,5 kg O<sub>2</sub> aus der Luft

## Kostenanteile für die Wasserstoffherstellung \\ Wasserstoffgestehungskosten ohne EEG



## Zusammenfassung



- Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext der Transformation des Energiesystems
- Wasser-Elektrolyse: Technologischer Blick
- Abschätzungen/Überlegungen zu Abwärme-Potentialen
  - Abwärmeleistung
  - Betriebsführung resultierende Arbeit
  - Kostenstrukturen



## Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle: Eine Ersteinschätzung

Richard Hanke-Rauschenbach, Florian Peterssen

<sup>1</sup>Institut für Integrierte Energiesysteme (IfES)  
Fachgebiet Elektrische Energiespeichersysteme

<sup>2</sup>Leibniz-Forschungszentrum Energie 2050 (LiFE 2050)

E-Mail: [hrh@ifes.uni-hannover.de](mailto:hrh@ifes.uni-hannover.de)

**Vielen Dank für Ihr Interesse!**