



## 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

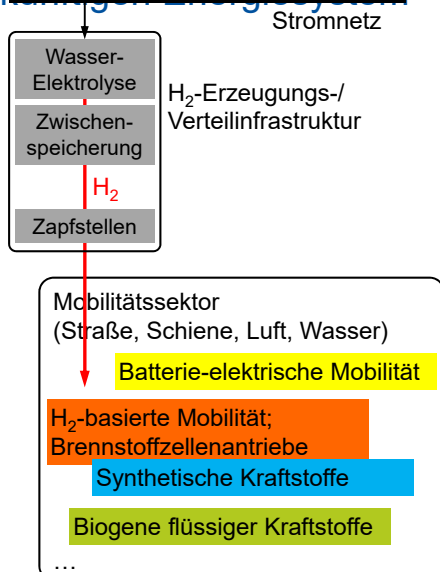
## Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext Transformation des Energiesystems



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

Leibniz Universität Hannover

**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

Leibniz Universität Hannover

**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

Leibniz Universität Hannover

Wasserelektrolyse (H<sub>2</sub>) → InSpEE → Untergspeicher

**Lösungselement zur Nutzung von erneuerbarer**

	Ausgewertete Strukturen [-]	Energiegehalt	
		CAES [TWh]	H <sub>2</sub> [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

Erreichung hoher Nutzungsgrade; Nutzung von sog. ... (Tage) für Speicher mit > 250 kWh/kWh

Speicherung ... le Lösung dar: ... 5 EUR/kWh, ... EUR/kWh, ... 100 TWh ... ≈ 100 GWh

Berücksichtigt sind sowohl Kosten für Energieteil des ... auch für den entsprechend dimensionierten Leistungsteil

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

## Gliederung

Leibniz Universität Hannover

- 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**

Leibniz Universität Hannover

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

$H_2O \leftrightarrow H_2 + 1/2 O_2 \quad \Delta_r g^\theta > 0$

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**

Leibniz Universität Hannover

– Cell stacking

$2e^-$


$H_2$   $O_2$   $H_2$   $O_2$   $H_2$   $O_2$   $H_2$   $O_2$

$H_2O$   $H_2O$

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

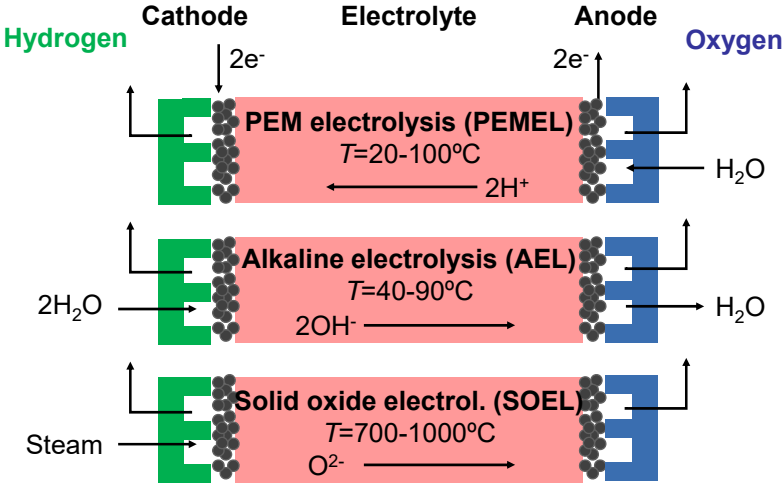
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 5-4



– Classification based on the type of electrolyte


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



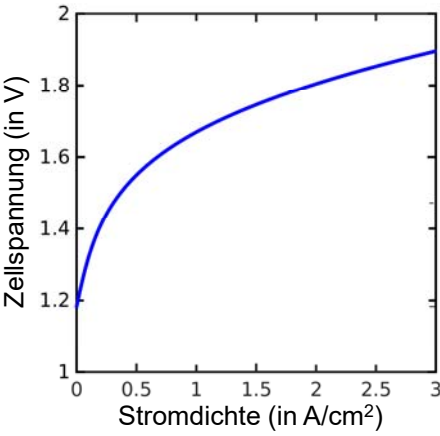
Net reaction:  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$

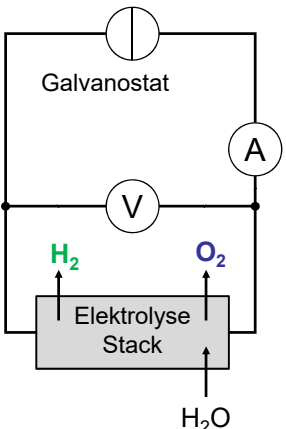
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019 Blatt 6-1



– Polarisationskurve






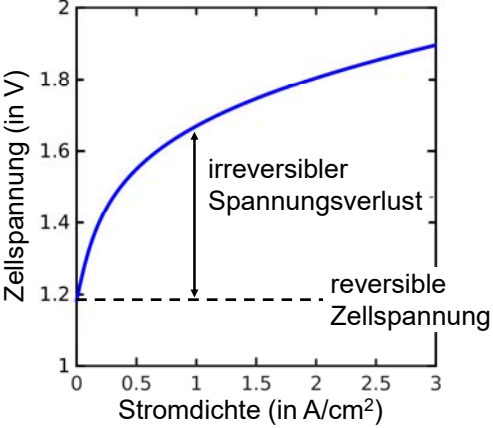
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

Blatt 6-2



– Polarisationskurve




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

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

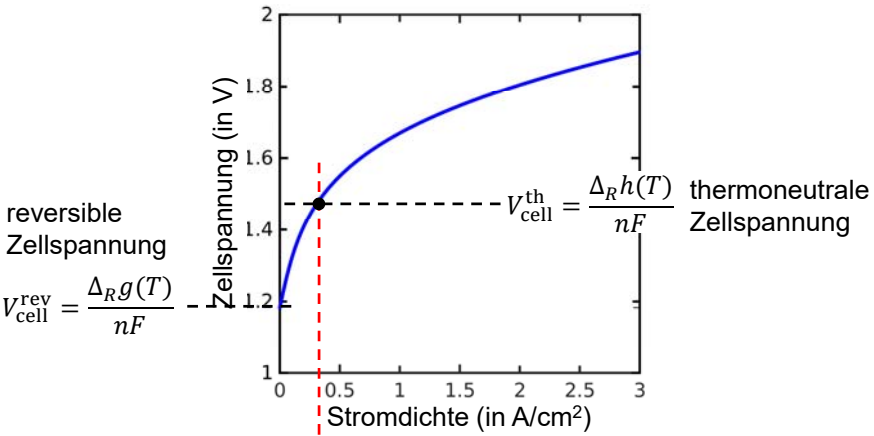
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

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,  $Q > 0$  | Wärmeeabfuhr nötig,  $Q < 0$  (zugeführte Energie größer als Reaktionsenthalpie)

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

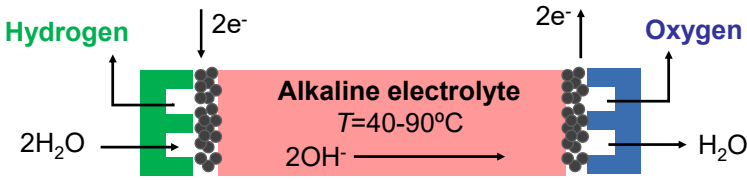


Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

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:

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

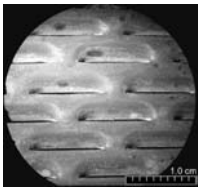
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

Lehrveranstaltung Brennstoffzellen und Wasserelektrolyse – Sommersemester 2019

Blatt 5-9

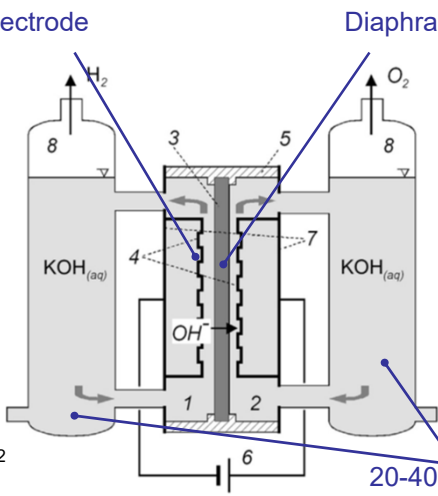



– Alkaline Electrolysis (AEL)



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)

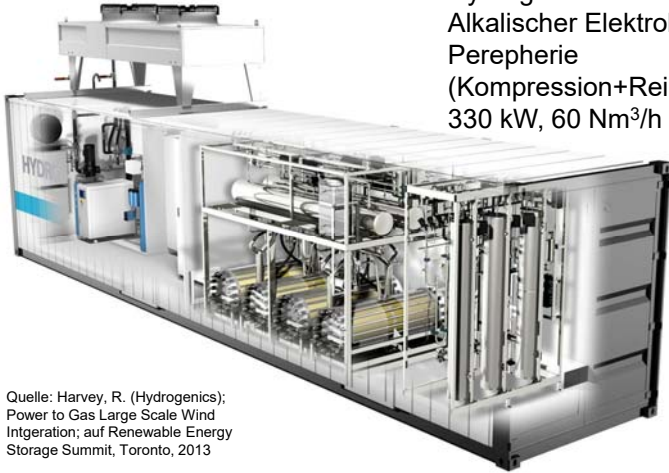
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

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

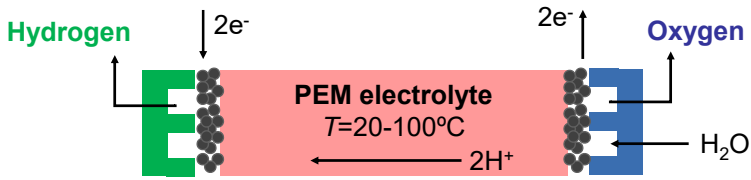
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

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

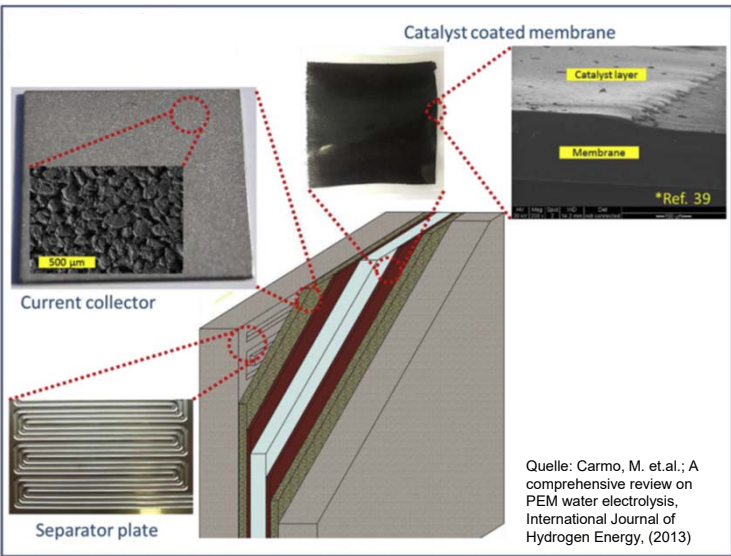
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

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)

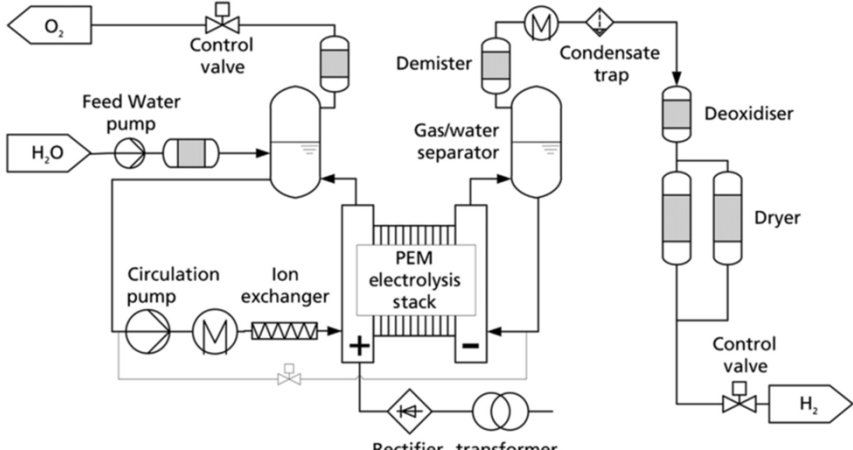
R. Hanke-Rauschenbach, F. Peterssen | Die Wasserelektrolyse als künftige Abwärmequelle | 4.11.2021

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)

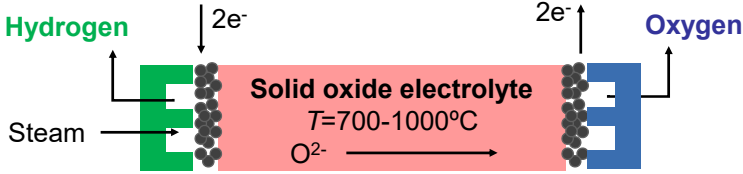


Quelle: [www.itm-power.com](http://www.itm-power.com), 12.05.2015

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)




**Solid oxide electrolyte**  
T=700-1000°C  
O<sup>2-</sup> →

**Cathode:**  $H_2O(g) + 2e^- \leftrightarrow H_2 + O^{2-}$       **Anode:**  $O^{2-} \leftrightarrow 1/2O_2 + 2e^-$

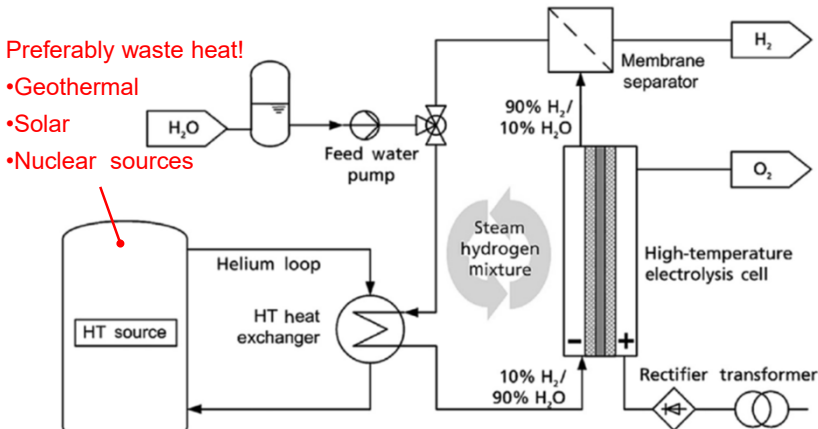
- Materials – Similar to solid oxide fuel cells (e.g. [1,2]):
  - Electrolyte (100-250 μm): Ytria-stabilized zirconia (YSZ)
  - Cathode (ca. 100 μm): Ni/Ni - or Ni/YSZ -cermet...
  - Anode (ca. 40 μm): YSZ, Lanthanum manganite (LaMnO3) or lanthanum ferrite (LaFeO3), doped with strontium for higher activity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



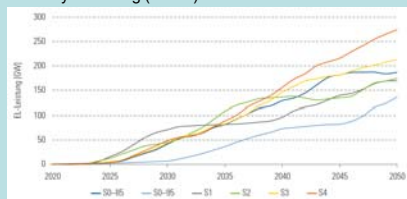
- Bedeutung der Wasserelektrolyse im Kontext der Transformation des Energiesystems
- Wasser-Elektrolyse: Technologischer Blick
- **Abschätzungen/Überlegungen zu Abwärme-Potentialen**
  - Abwärmeleistung
  - Betriebsführung resultierende Arbeit
  - Kostenstrukturen

## Installierte Elektrolyseleistung



### IndWEDe Studie – 2018 [1]

Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien

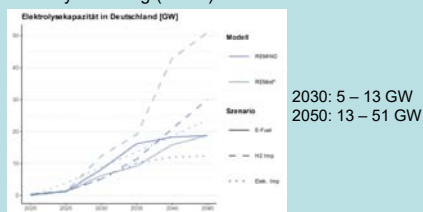


Elektrolyseleistung vor allem abhängig von:

- 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)

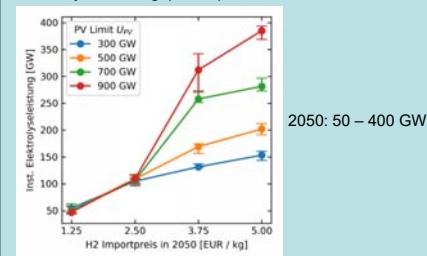
### Ariadne Report – 2021 [2]

Elektrolyseleistung (elektr.) für versch. Szenarien




### Eigene Arbeit – 2021 [in prep]

Elektrolyseleistung (elektr.) in 2050 für versch. Szenarien

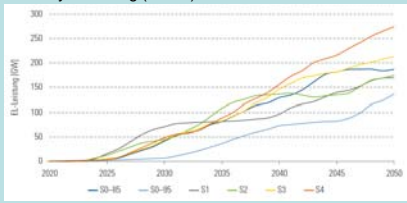


[1] T. Smolinka et al., "Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme.", Berlin, Jun. 2018.  
 [2] G. Luderer et al., "Ariadne-Report: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - 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



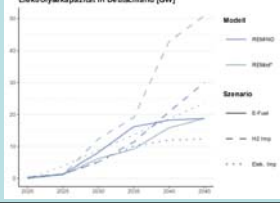
2030: 10 – 75 GW    2050: 135 – 275 GW

Elektrolyseleistung (elektr.) in 2050 für versch. Szenarien

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

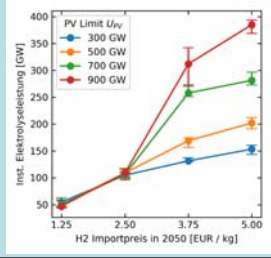
Von elektr. Eingangsleistung  
ca. 70% in H<sub>2</sub> und 30%  
Verluste.  
Annahme: davon 2/3 nutzbar  
→ 20% der Eingangsleistung  
als Abwärme nutzbar

**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]**

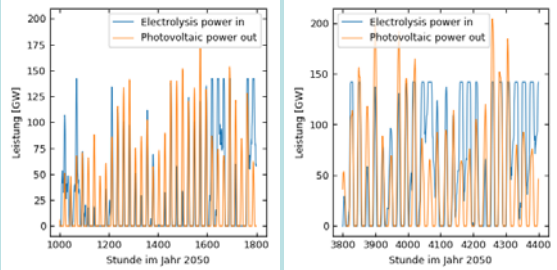
- VLS in 2050: 1900 – 3200 h
- Abwärmemenge in 2050: **70 – 110 TWh**

**Eigene Arbeit – 2021 [in prep]**

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

**Ariadne Report – 2021 [2]**

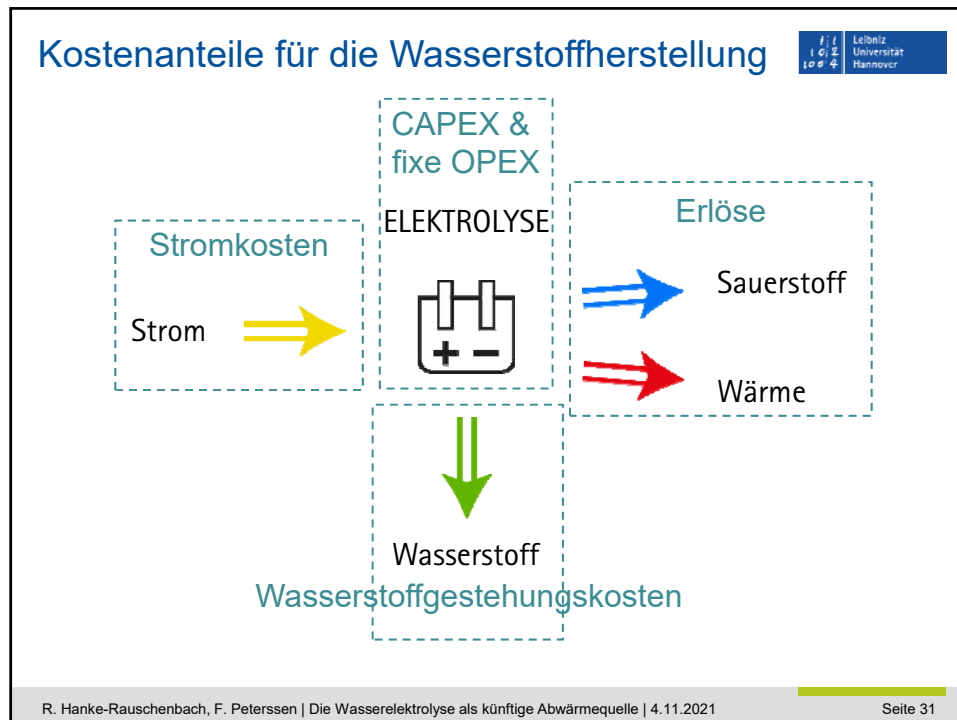
- VLS in 2050: 1010 – 8460 h
- Abwärmemenge in 2050: **9 – 22 TWh**



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

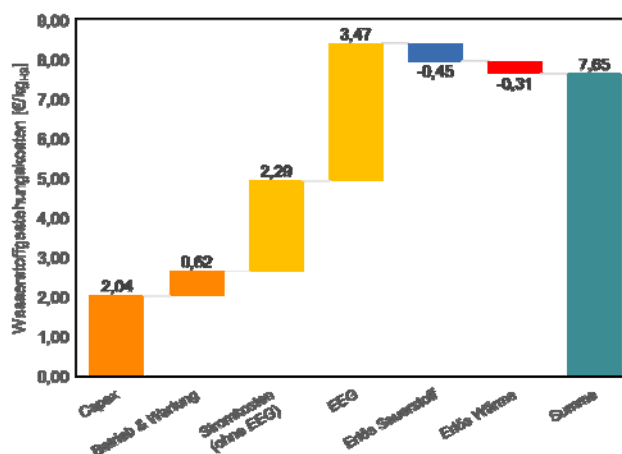


Parameter für die Erlöse durch Sauerstoff und Wärme

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!**