

# Wasserelektrolyse an der Schwelle zur großskaligen Industrialisierung – Trends und Herausforderungen bis 2030

Session 4.02 Wasserstoff – Energieträger der Zukunft?

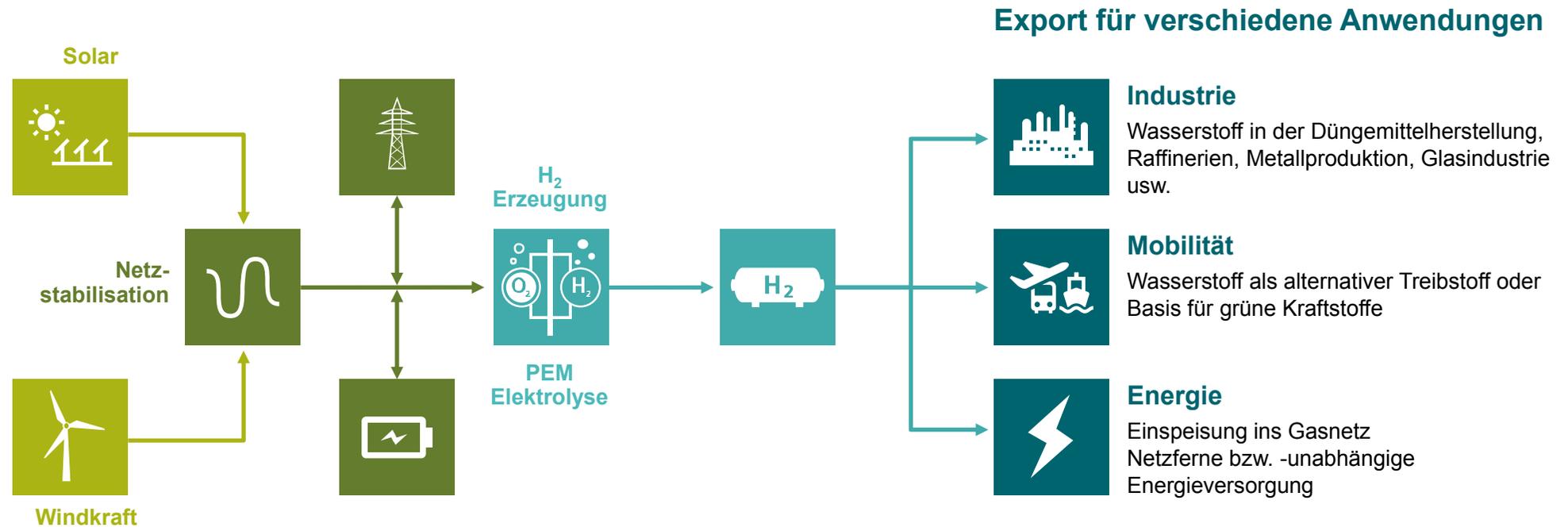


**Ilona Dickschas**  
Hydrogen Solutions - Siemens AG

**Tom Smolinka**  
Fraunhofer-Institut für Solare  
Energiesysteme ISE

Berliner Energietage  
Ludwig Erhard Haus  
Berlin, 20. Mai 2019

# Wasserstoff aus erneuerbaren Energien ermöglicht Langzeit- speicherung in großem Umfang und Sektorenkopplung



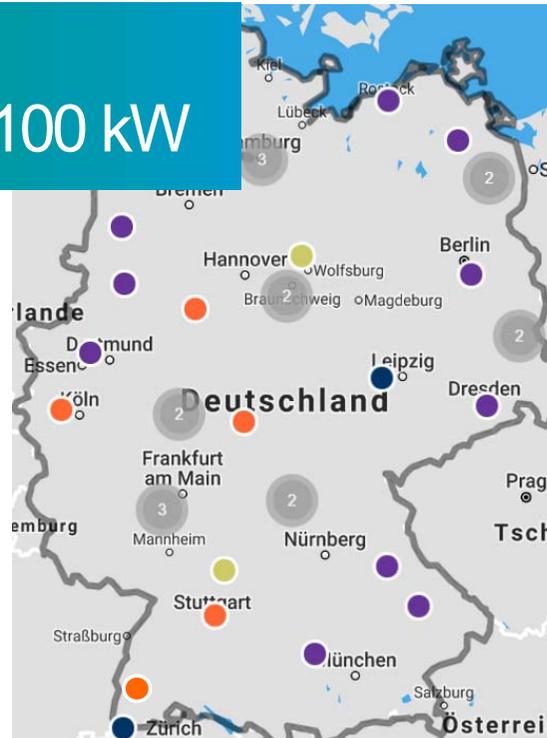
# In Deutschland gibt es derzeit mehr als 30 Pilotprojekte für Power-to-Gas Technologien mit insgesamt ca. 25 MW



CO2RRECT (2013)



100 kW



Energiepark Mainz (2015)



3,75 MW



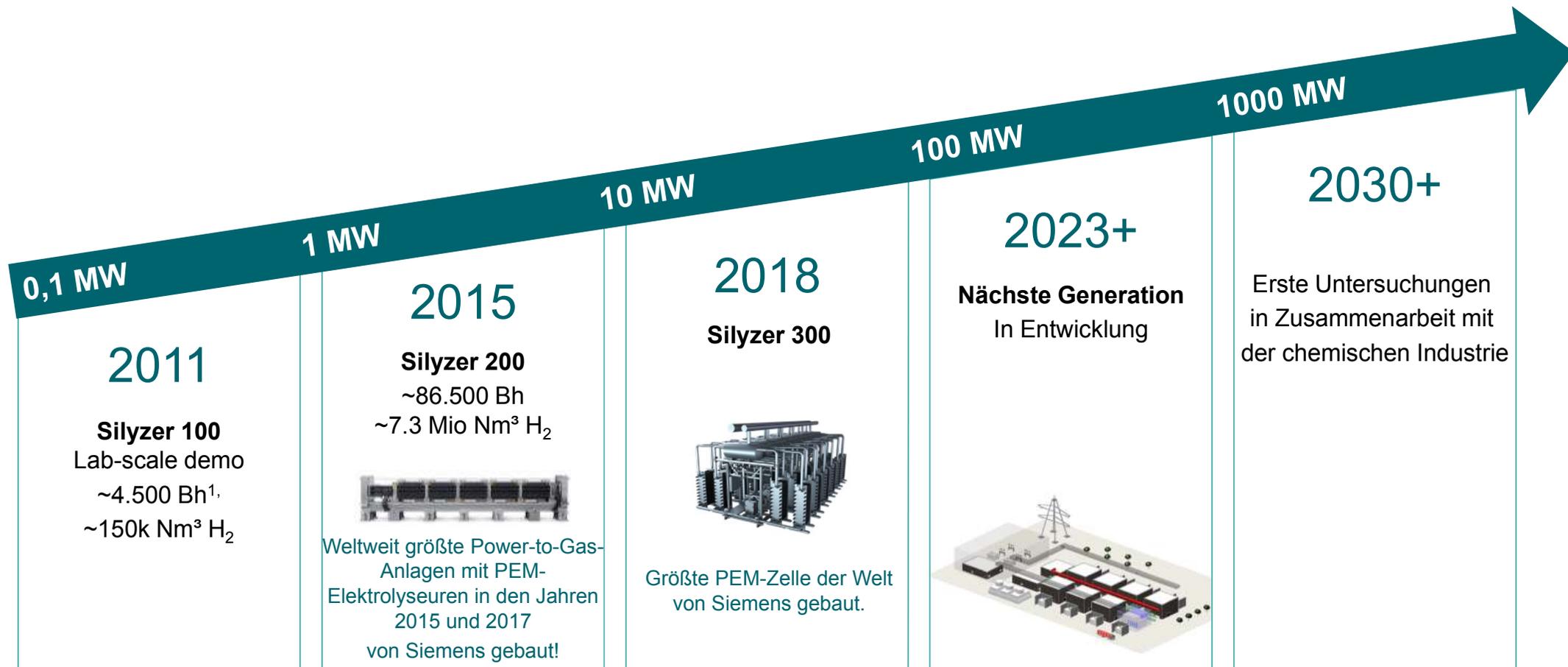
Windgas Haßfurt (2015)

1,25 MW



Die **bestehenden** Anlagengrößen sind im **kW** und **einstelligen MW** Bereich  
 Die ersten Anlagen im **zweistelligen MW** Bereich sind **im Bau** und im Rahmen der **Reallabore** sind bis zu **100 MW** in Planung.

# Das Silyzer-Portfolio vergrößert sich alle 4-5 Jahre um Faktor 10, getrieben von Marktnachfrage und Zusammenarbeit mit Kunden



1) Bh.: Betriebsstunden; Daten Bh & Nm³ ab Jan. 2019

# Fünf Haupttreiber für Wasserstoffgestehungskosten

## Standortspezifische Treiber

### Strompreis

- Deutschland: Regularien im Bezug auf Elektrolyse (EEG, Netzentgelte etc.)

### Betriebsstunden

- Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien

➤ 3500 Betriebsstunden hängen  
ca. 75% der  
Wasserstoffgestehungskosten vom  
Strompreis ab

## Technologische Treiber

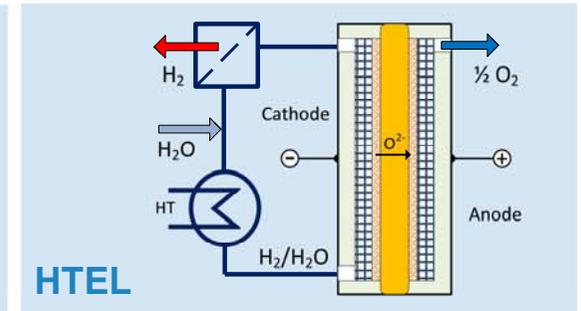
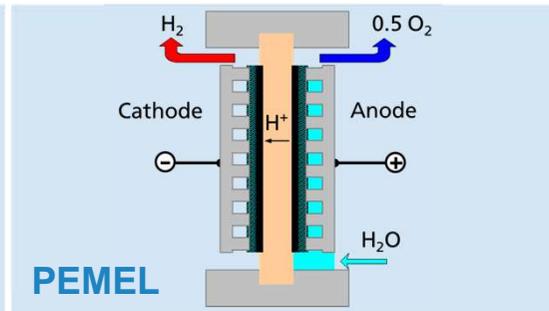
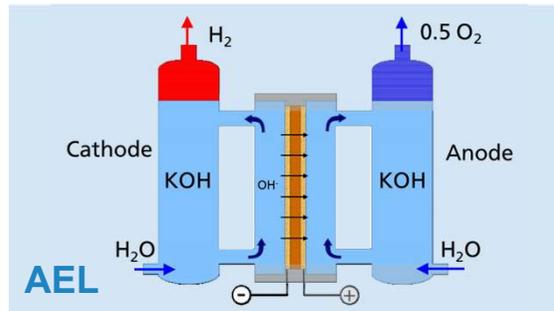
### Effizienz

### Elektrolyseanlage CAPEX

### Maintenance Kosten

- Skalierungseffekten → Anzahl und Größe der Anlagen (Industrie)
- Weitere Forschung und Entwicklung in Richtung Material und Verfahrenstechnischen Optimierungen und Effizienzerhöhung

# Es gibt heute drei wesentliche Verfahren der Wasserelektrolyse. Der Elektrolyt macht den Unterschied!



	Alkalische Elektrolyse	Membran- / PEM-Elektrolyse	Hochtemperatur-Elektrolyse
Elektrolyt und Ladungsträger	Flüssigelektrolyt KOH OH <sup>-</sup>	Saure Polymermembran H <sup>+</sup>	Feststoffelektrolyt Zirkonkeramik O <sup>2-</sup>
Elektroden	Nickel / Eisen (Raney)	Edelmetalle (Platin, Iridium)	Zirkonia, Ni-Cermet, Perovskite
Temperaturbereich	60 - 90 °C	RT - 80 °C	700 - 900 °C
Reversibler Betrieb	✘	✘	✔
Typische Stromdichte	0,2 - 0,6 A/cm <sup>2</sup>	1,0 - 2,5 A/cm <sup>2</sup>	~ 1,0 A/cm <sup>2</sup>

# Es gibt heute drei wesentliche Verfahren der Wasserelektrolyse. Jede Technologie hat ihre Stärken und Schwächen ... und ihre Berechtigung.



	Alkalische Elektrolyse	Membran- / PEM-Elektrolyse	Hochtemperatur-Elektrolyse
Technologischer Reifegrad (TRL)	8-9 (industriell etabliert)	7-8 (kommerziell verfügbar)	4-6 (Labor- und Demobetrieb)
Typischer Druck	atm. - 30 bar	atm. - 50 bar (350 bar)	atm.
Stack-/ Modulgröße	< 1.000 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h 0,5 - 5 Mw <sub>el</sub>	x-fach 100 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h 0,1 - 1,5 Mw <sub>el</sub>	< 10 Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> /h kW-Bereich
Spez. Energiebedarf	4,2 - 5,8 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	4,5 - 6,8 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	3,6 - 4,0 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> + Dampf > 200 °C

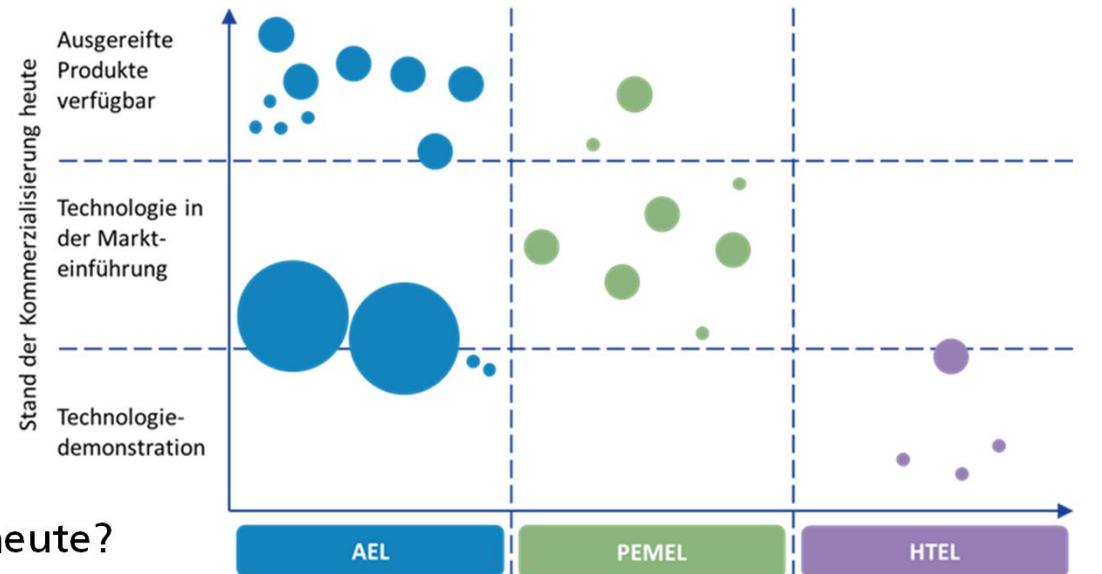
# Welche zukünftige Herausforderungen bestehen für die Wasserelektrolyse? Beschreibung der Akteurslandschaft (Umfrage 2016/17)<sup>1</sup>

## Hauptmerkmale (2016/17):

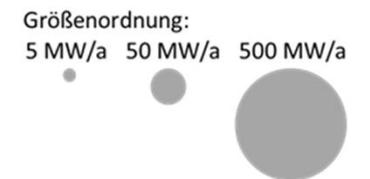
- Verkaufte EL-Kapazität: ~ 100 MW/a
- Weltweiter Umsatz: ~ 100-150 Mio.€/a
- Direkte Mitarbeiter: ~ 1.000
- Möglicher Ausbau der Fertigungskapazität bis 2020: ~ 2 GW

## Wie arbeiten Hersteller von Elektrolysesystemen heute?

- Standardisierte Stack-Plattformen
- Einzelauftragsproduktion im Werkstättenprinzip
- Projekt-zu-Projekt-Geschäft ohne Lagerhaltung



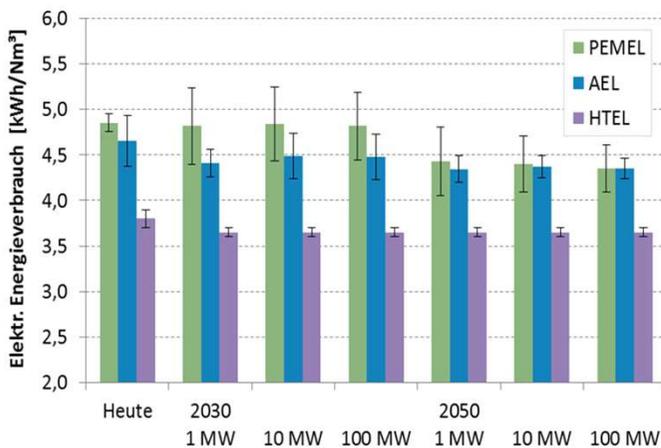
Mögliches Produktionsvolumen in 2020 je Hersteller (anonymisiert). Vorausgesetzt entsprechender Nachfrageentwicklung am Markt.



# Welche zukünftige Herausforderungen bestehen für die Wasserelektrolyse? Die Verfahren sind heute verfügbar – aber noch lange nicht ausentwickelt.

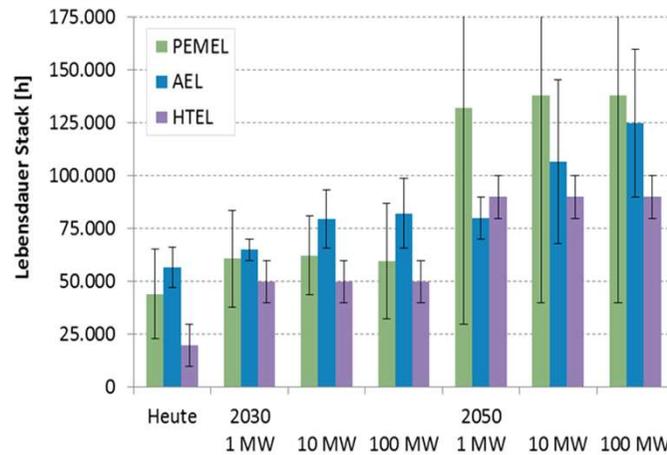
## Elektrischer Energiebedarf

- Langfristig (2030/50) nimmt die Effizienz nur unwesentlich zu.



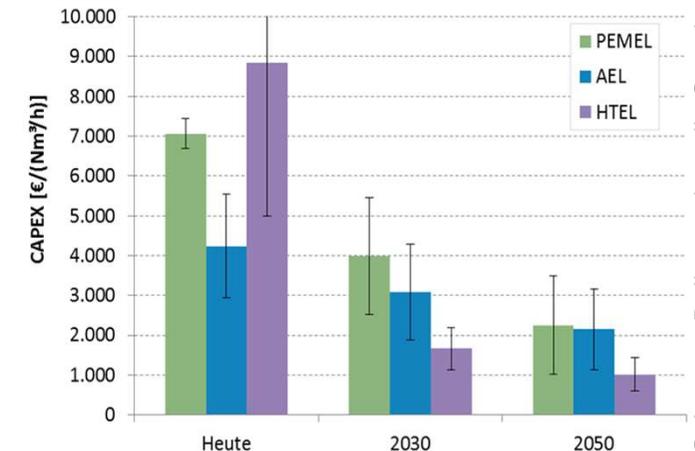
## (Technische) Lebensdauer Stack

- Das Potenzial ist für alle drei Technologien noch nicht ausgereizt.



## Investitionskosten

- Bereits heute ermöglichen Skaleneffekte erhebliche CAPEX-Reduktionen.



Schwarze Balken geben die Standardabweichung an.

# Welche zukünftige Herausforderungen bestehen für die Wasserelektrolyse? Auf europäischer Ebene gibt es klare Anforderungen!

## ■ Entwicklungsziele des Fuel Cell and Hydrogen 2 Joint Undertaking für die Wasserelektrolyse (2018)<sup>1</sup>

Kenngröße	Einheit	2017 Status AEL <sup>2</sup>	2030 Ziele AEL <sup>2</sup>	2017 Status PEMEL <sup>2</sup>	2030 Ziele PEMEL <sup>2</sup>	2017 Status HTEL <sup>3</sup>	2030 Ziele HTEL <sup>3</sup>
Elektrischer Energiebedarf	kWh/kg	51	48	58	50	41	37
Investkosten (System)	€/(kg/d)	1.600	800	2.900	1.000	12.000	1.500
	€/kW	750	400	1.200	480	7.000	970
Stromdichte	A/cm <sup>2</sup>	0,5	0,8	2,0	2,5	--	--
Degradation	%/1000h	0,13	0,10	0,250	0,120	2,8	0,5
Einsatz kritischer Katalysator-Materialien	mg/W	7,3 (Cobalt)	0,7 (Cobalt)	5,0 (Pt und Ir)	0,4 (Pt und Ir)	--	--

1: [http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/MAWP%20final%20version\\_endorsed%20GB%2015062018%20%28ID%203712421%29.pdf](http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/MAWP%20final%20version_endorsed%20GB%2015062018%20%28ID%203712421%29.pdf)

2: Output of hydrogen meeting ISO 14687-2 at pressure of 30 bar

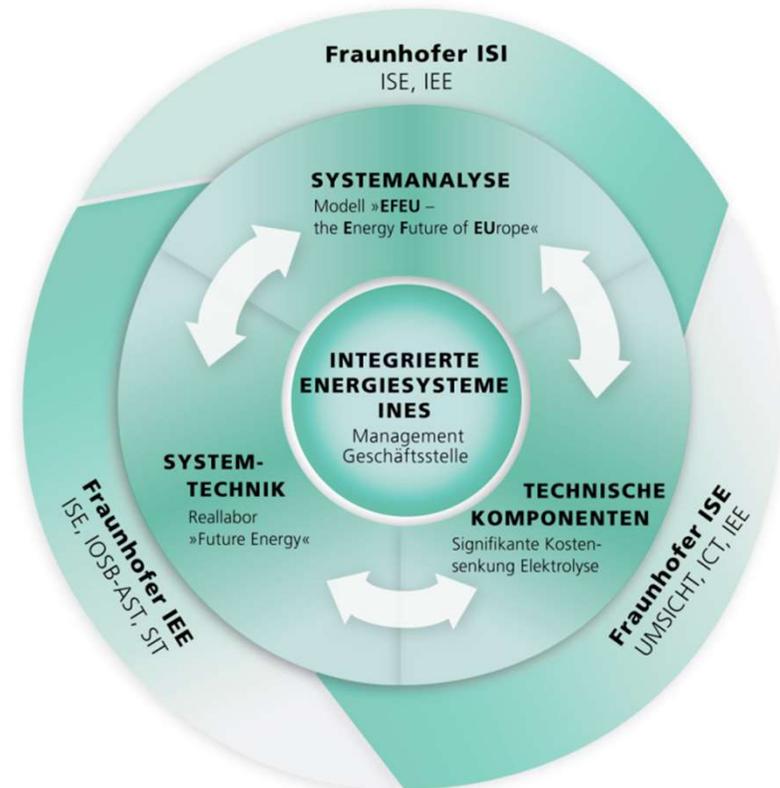
3: Output of hydrogen meeting ISO 14687-2 at atmospheric pressure

# Welche zukünftige Herausforderungen bestehen für die Wasserelektrolyse? Forschung und Entwicklung kann einen wichtigen Beitrag leisten.

- Für alle drei Technologien konnten in den letzten 5-10 Jahren erhebliche Fortschritte erzielt werden
  - KPI-Ziele sind einzeln erreichbar, müssen jedoch in Summe betrachtet werden (z.B. geringere Systemkosten bei verbesserter Effizienz und höherer Lebensdauer)
- Alkalische Wasserelektrolyse (TRL 8-9)
  - neue Zellkonzepte und verbesserte Elektrodenaktivität für höhere Stromdichten
- PEM-Wasserelektrolyse (TRL 7-8)
  - Vergrößerung der Zellfläche und höhere Stromdichten
  - Starke Reduzierung der PGM-Beladung und gleichzeitige Erhöhung der Lebensdauer
- Hochtemperatur-Dampfelektrolyse (TRL 4-6)
  - Deutliche Erhöhung der Lebensdauer und Zyklenfestigkeit
  - Übertragung der hohen Effizienz von Zell- auf Systemebene (Systemintegration)

# Fraunhofer Cluster of Excellence »Integrierte Energiesysteme INES«

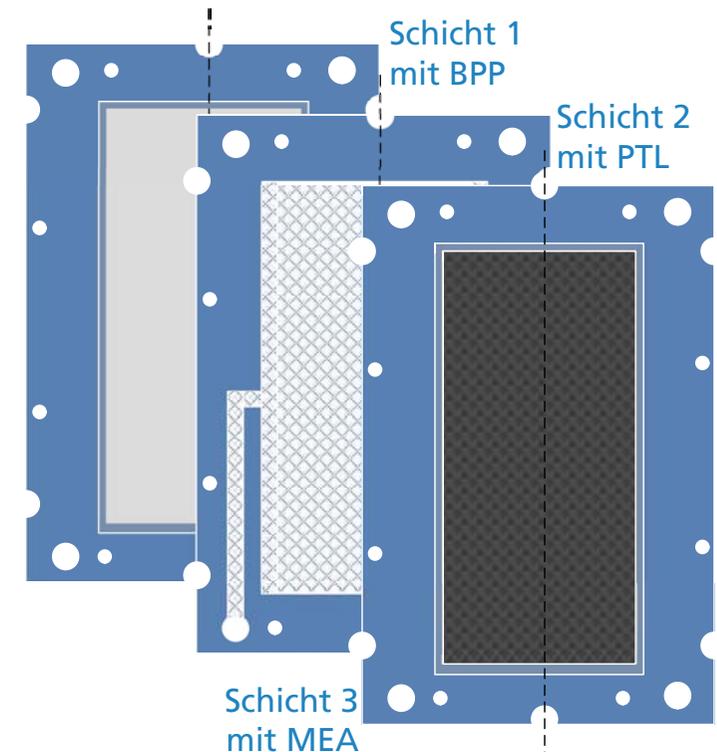
- FhG-Cluster ab 2019
  - Bündelung der Fraunhofer-Kompetenz zum Thema Energie in einem virtuellen Institut
  - Entwicklung einer offenen Kommunikationsplattform für Themen der Energieforschung
- Forschungsschwerpunkte im Cluster:
  - **Energiesystemanalyse:** Verknüpfung von Modellen, Erschließung neuer Märkte
  - **Systemintegration:** Intelligente Betriebsführung d. gekoppelten Energiesystems
  - **Technische Komponenten:** Entwicklung neuer Komponenten für die PEM-Elektrolyse 2030



# Fraunhofer Cluster of Excellence

## »Integrierte Energiesysteme INES« - Forschungsschwerpunkt Elektrolyse

- **Fraunhofer ICT:** Katalysatorentwicklung (OER)
  - Erhöhung Stromdichte durch optimierte Elektroden
  - Entwicklung eines Rekombinationslayer (Gasreinheiten)
- **Fraunhofer UMSICHT:** Katalysatorentwicklung (HER)
  - Entwicklung edelmetallfreier Katalysatoren zur Kostensenkung
  - Synthesewege solcher Elektrokatalysatoren für die saure Wasserelektrolyse
- **Fraunhofer ISE:** Neuartiges Zellkonzeptes für PEM-Elektrolyse
  - Vereinfachte poröse Transportschichten (PTL) zur Kostensenkung
  - Rahmenloses Zelldesign zur vereinfachten Herstellung von Halbzellen (auf Basis von Patent: DE 2015082614)



Vision eines fortschrittlichen Zellaufbaus für die PEM-Elektrolyse für Rolle-zu-Rolle-Verfahren

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fotos © Fraunhofer ISE



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dr. Tom Smolinka

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

[www.pem-electrolysis.de](http://www.pem-electrolysis.de)

[tom.smolinka@ise.fraunhofer.de](mailto:tom.smolinka@ise.fraunhofer.de)

## Contact

**SIEMENS**  
*Ingenuity for life*



### Ilona Dickschas

Head of Strategy & Business Development  
Hydrogen Solutions

Guenther-Scharowsky-Str. 1  
91058 Erlangen

Mobile: +49 172 1090 699

E-Mail: [ilona.dickschas@siemens.com](mailto:ilona.dickschas@siemens.com)



[siemens.com](https://www.siemens.com)