

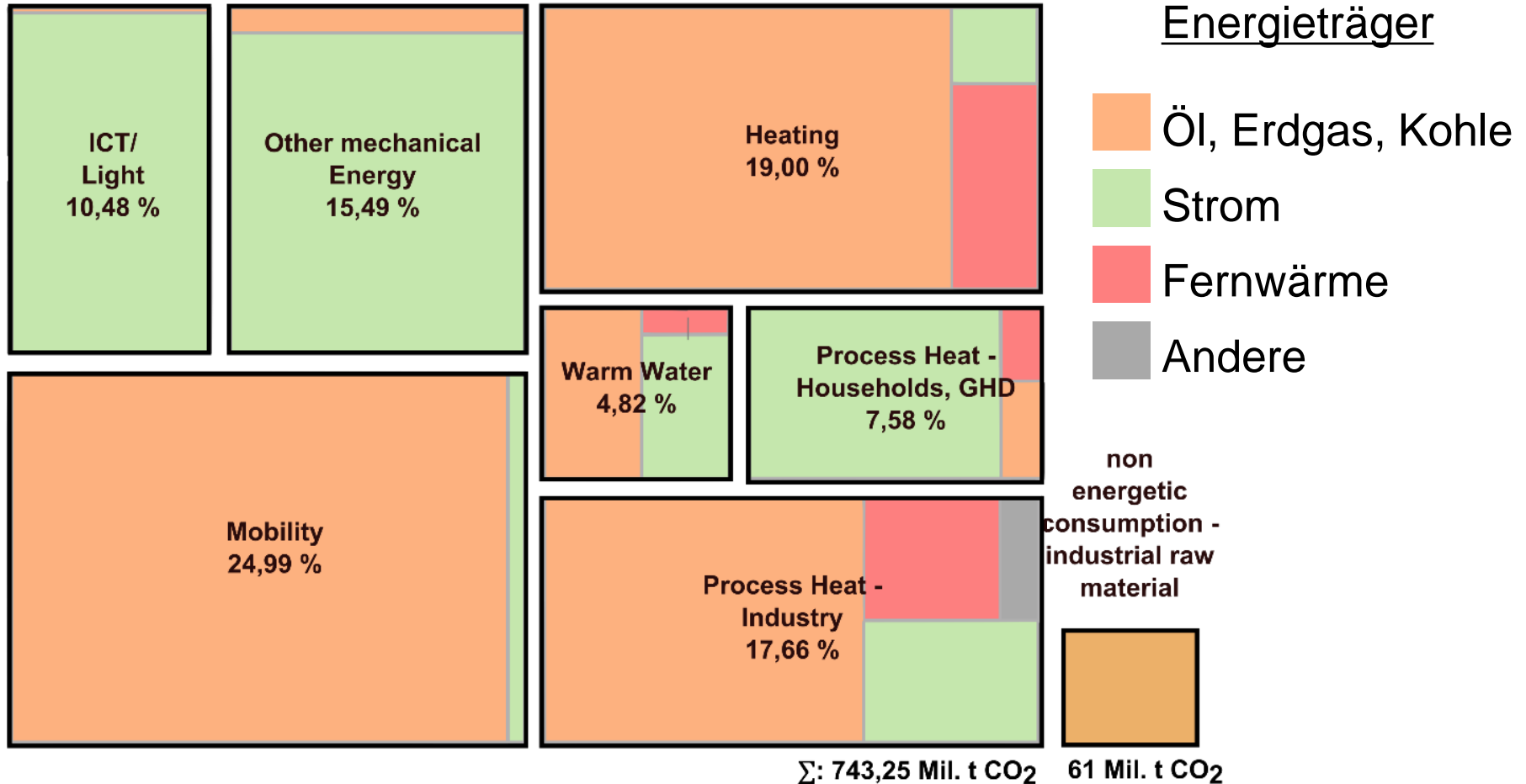
Wasserelektrolyse

Stand der Technik & Entwicklungsmöglichkeiten

Michel Suermann, Boris Bensmann,
Richard Hanke-Rauschenbach

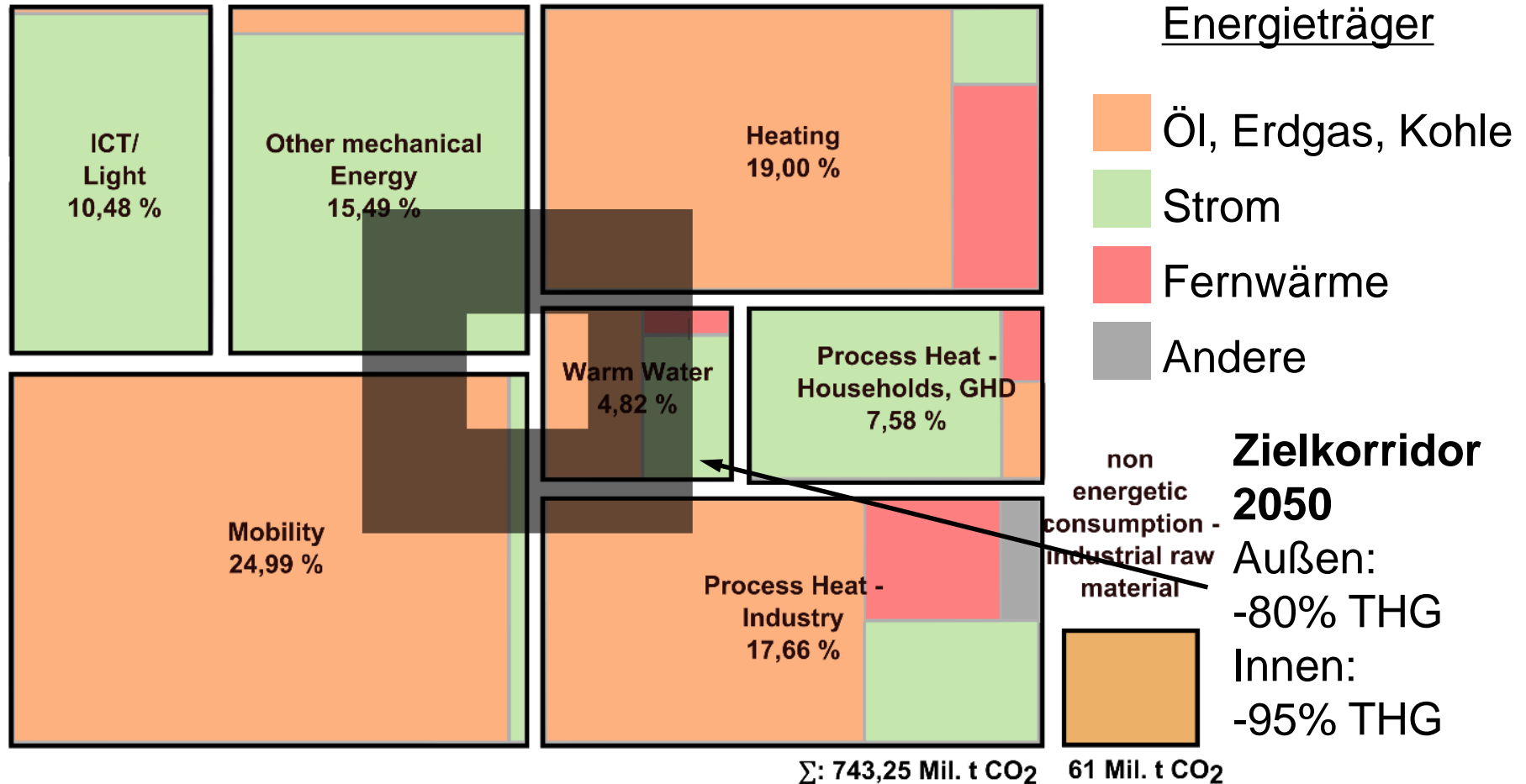
Leibniz Universität Hannover – Institut für Elektrische Energiesysteme (IfES)

Defossilisierung: CO₂-Emissionen in D nach Anwendungsbereichen (Basisjahr: 2014)



Quelle: B. Bensmann, Energetische Untersuchungen zur Druckwasserelektrolyse im Kontext von Power-to-Gas-Anwendungen, Dissertationsschrift Universität Magdeburg, 2017.

Defossilisierung: CO₂-Emissionen in D nach Anwendungsbereichen (Basisjahr: 2014)

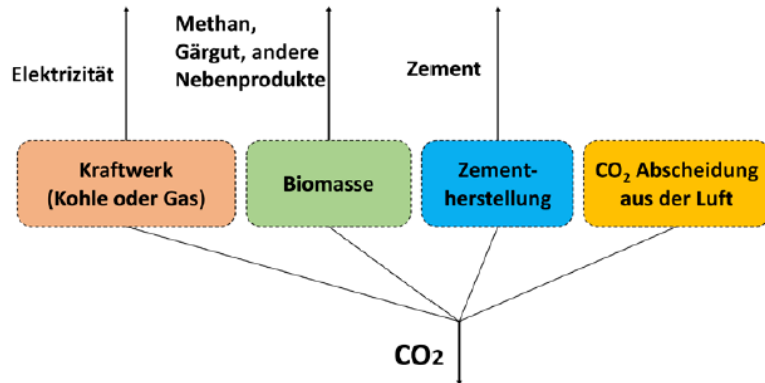


Quelle: B. Bensmann, Energetische Untersuchungen zur Druckwasserelektrolyse im Kontext von Power-to-Gas-Anwendungen, Dissertationsschrift Universität Magdeburg, 2017.

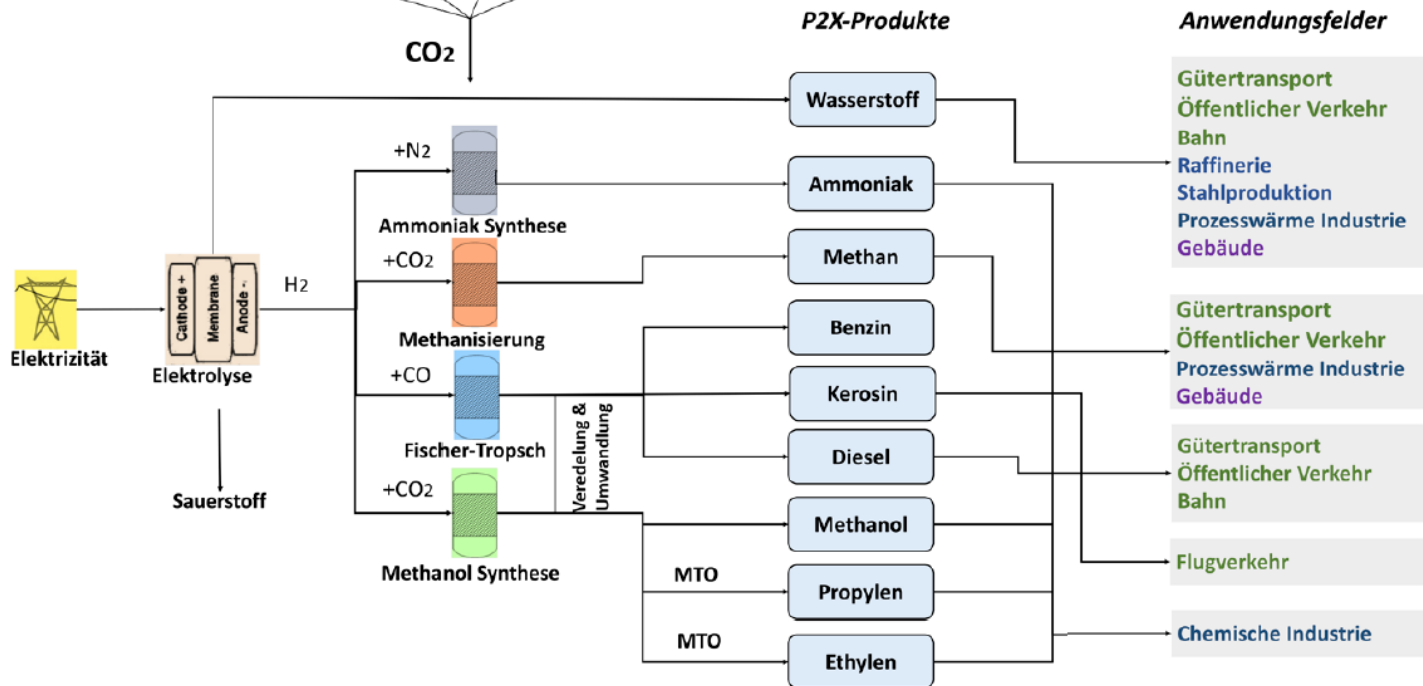
- 1) Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!
- 2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!
- 3) Der Markthochlauf muss “Hand in Hand” mit der Forschung und Entwicklung erfolgen!

- 1) **Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!**
- 2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!
- 3) Der Markthochlauf muss “Hand in Hand” mit der Forschung und Entwicklung erfolgen!

Wo kann H₂ und die Wasserelektrolyse helfen?



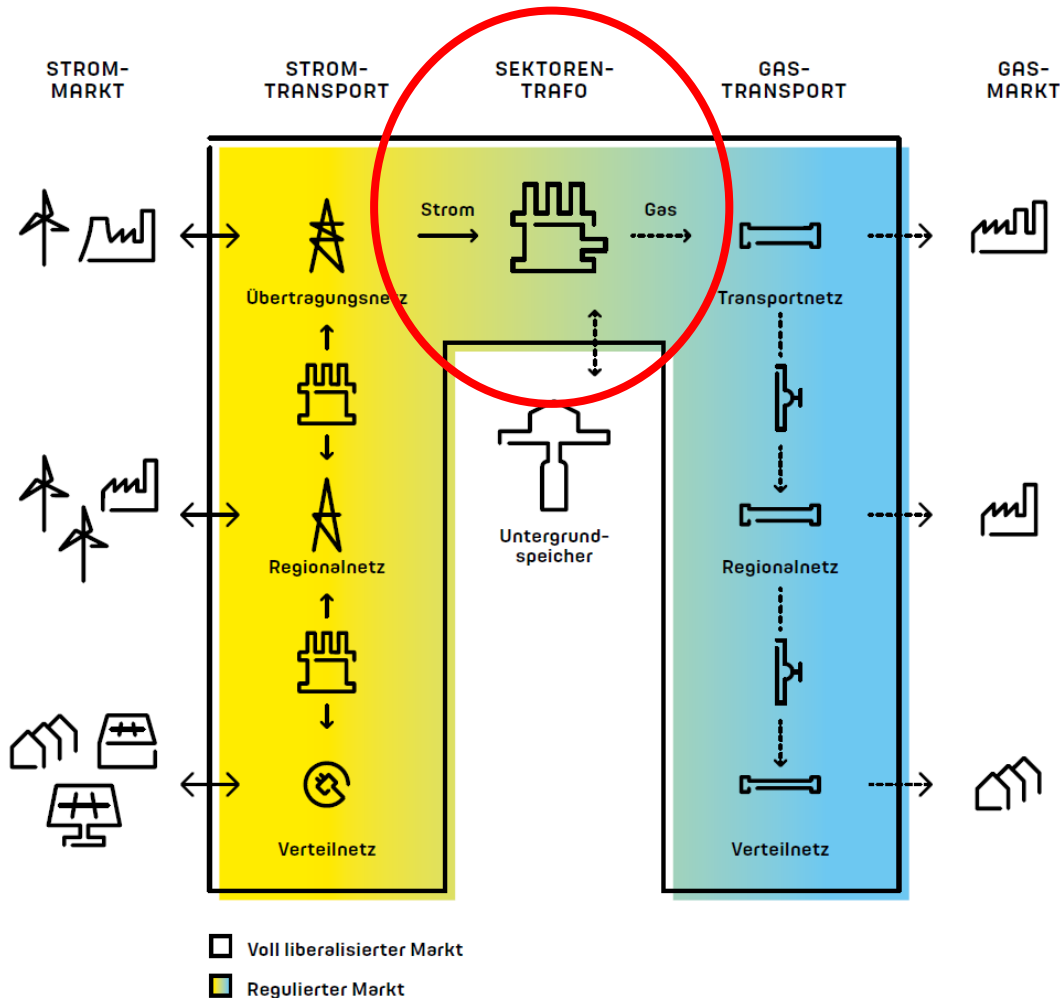
- Schlüsselrolle kommt auf H₂/Wasserelektrolyse zu
- Bedarf an (EE-)Strom & C-Quelle zur Herstellung von Grundstoffen und Endprodukten der Industrie



Quelle: T. Kober et al., Power-to-X: Perspektiven in der Schweiz – Ein Weissbuch, 2019.

Sektorkopplung Stromnetz – Gasnetz

Wie erfolgt die Umsetzung?



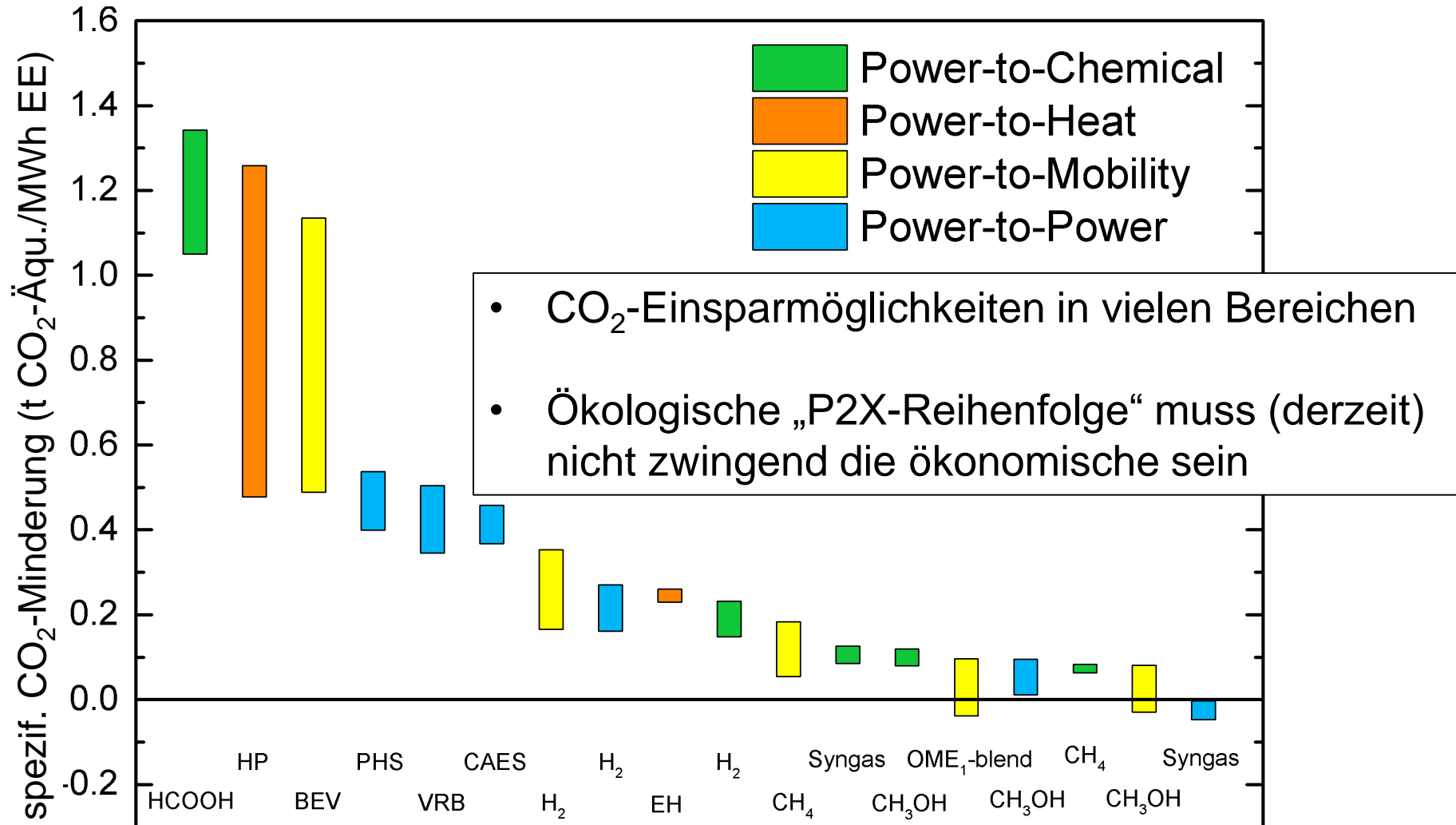
sog. „**Sektoren-Trafo**“
(Amprion/Open Grid Europe)

- Bindeglied zwischen Strom- und Gasnetz
- Tatsächliche Sektorenkopplung
- Klärung rechtlicher Rahmenbedingungen

Quelle: hybridge – Mit Sektorenkopplung zur erfolgreichen Energiewende – Ein Projekt von Amprion und Open Grid Europe, https://www.amprion.net/Presse/Presse-Detailseite_18113.html, 2019.

CO₂-Einsparpotenzial “P2X-Merit Order”

Was machen wir mit einer MWh EE-Strom?



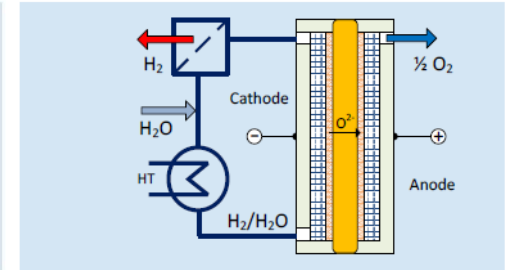
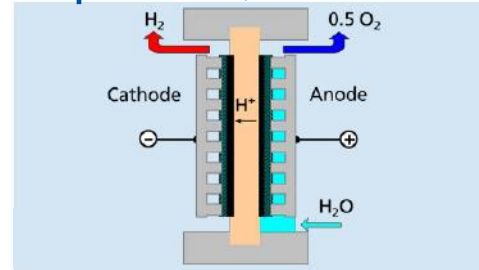
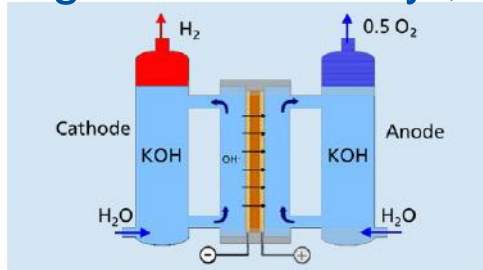
Quelle: Sternberg und Bardow: Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems. Energy Environ. Sci. 8 (2015), 389.

- 1) Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!
 - Defossilisierung in sämtlichen Sektoren stärken, bestenfalls unter Berücksichtigung der „Einsatzreihenfolge (P2X-merit order)“.
 - Sektorkopplung stärken, um Synergieeffekte nutzen zu können. Verbindendes Element zwischen Strom- und Gasnetz ist der Wasserstoff bzw. die Wasserelektrolyse.
 - EE-Ausbau stärker forcieren, um eine globale THG-Reduktion über den Stromsektor hinaus zu erzielen.

- 1) Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!
- 2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!**
- 3) Der Markthochlauf muss “Hand in Hand” mit der Forschung und Entwicklung erfolgen!

Wasserelektrolyse-Typen

Unterscheidung nach Elektrolyt, Temperatur, ...



	Alkalische (AEL)	Saure Membran (PEM)	Hochtemperatur (SOEC)
Elektrolyt	OH ⁻ (flüssiges KOH)	H ⁺ (Polymermembran)	O ²⁻ (feste Zirkonkeramik)
Temperatur	60-80 °C	20... 50-70 °C	700-900 °C
Typische Stromdichte	0,2 – 0,6 A/cm ²	0,0... 1,0 – 3,0 A/cm ²	0,5 – 1,0 A/cm ²
Elektroden	Nickel (Raney), Eisen	Platin, Iridium	Zirkonia, Ni-Cermet, Perovskite

Quelle: T. Smolinka, 12. Niedersächsische Energietage, Hannover, 2019. ||| M. Carmo et al., A comprehensive review on PEM water electrolysis, JHE 38 12 4901-4934, 2013. ||| Schmidt et al., Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study, JHE 42 52 30470-30492 2017. ||| K. Ayers et al., Perspectives on Low-Temperature Electrolysis and Potential for Renewable Hydrogen at Scale, Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng. 10:219-39, 2019.

Wasserelektrolyse-Typen

Kenngroößen, Vor- und Nachteile



	Alkalische (AEL)	Saure Membran (PEM)	Hochtemperatur (SOEC)
Technologischer Reifegrad (TRL)	8-9 (industriell etabliert)	7-9 (kommerziell verfügbar)	4-7 (Labor- und Demoanlagen)
Typischer Druck	atm. – 30 bar	atm. – 50 bar	atm.
Stack-/ Modulgröße	<1000 Nm ³ H ₂ /h 0,5-5 MW _{el}	<500 Nm ³ H ₂ /h 0,1-1,5 MW _{el}	<10 Nm ³ H ₂ /h kW _{el}
Spez. Energiebedarf	4,2 – 5,8 kWh _{el} /Nm ³ H ₂	4,5 – 6,8 kWh _{el} /Nm ³ H ₂	3,6 – 4,0 kWh _{el} /Nm ³ H ₂ + >200 °C Dampf

Quelle: T. Smolinka, 12. Niedersächsische Energietage, Hannover, 2019. ||| M. Carmo et al., A comprehensive review on PEM water electrolysis, JHE 38 12 4901-4934, 2013. ||| Schmidt et al., Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study, JHE 42 52 30470-30492 2017. ||| K. Ayers et al., Perspectives on Low-Temperature Electrolysis and Potential for Renewable Hydrogen at Scale, Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng. 10:219-39, 2019.

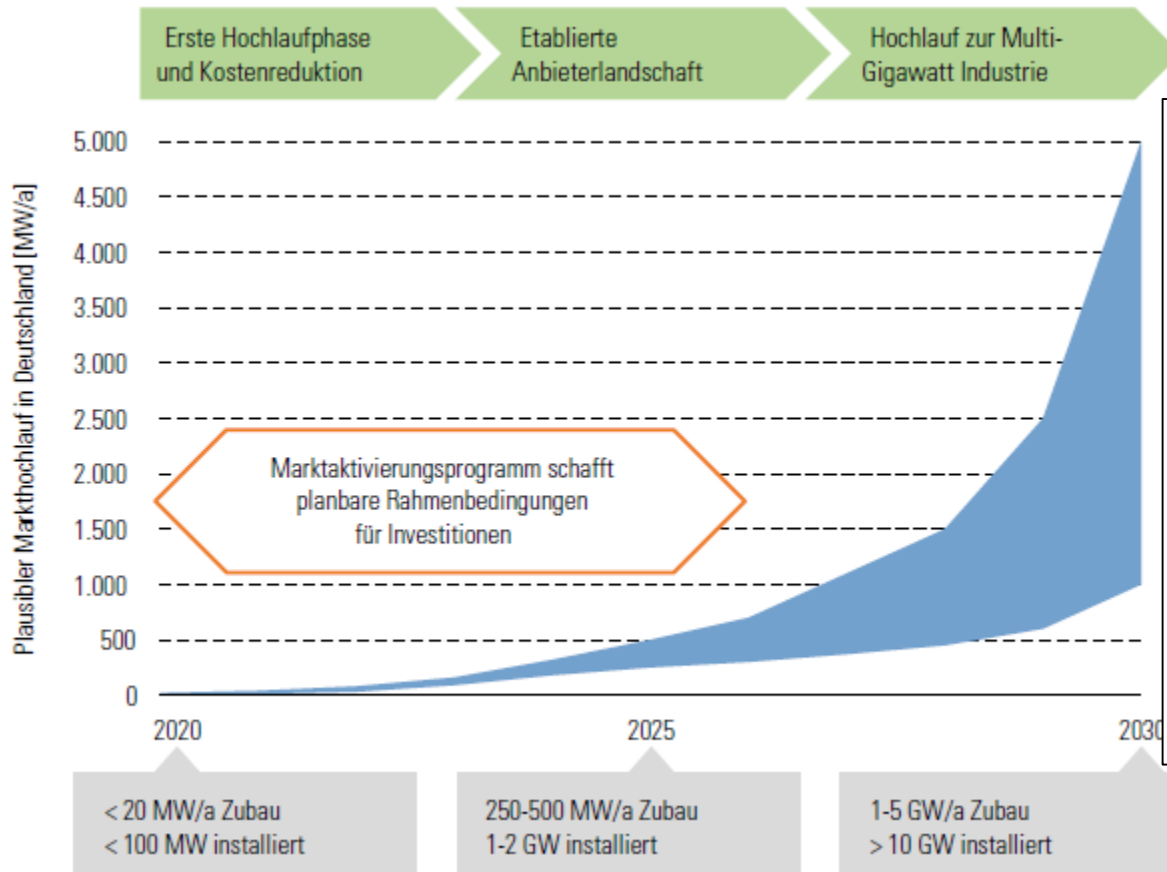
2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!

- Unterschiedliche Anforderungen erfordern maßgeschneiderte Lösungen, tendenziell gilt:
 - Kontinuierlicher und langlebiger Betrieb → eher AEL
 - Flexible Betriebsführung (u.a. Direktkopplung) → eher PEM
 - Externe Wärmequelle vorhanden → eher SOEC
- Wichtige Entwicklungsziele
 - Alle: Betriebskosten und Investitionskosten senken
 - AEL: Stromdichte erhöhen
 - PEM: Langlebigkeit auch bei geringerer Überdimensionierung erzielen
 - SOEC: Materialermüdung bei Start/Stops reduzieren, Reifegrad erhöhen

- 1) Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!
- 2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!
- 3) Der Markthochlauf muss “Hand in Hand” mit der Forschung und Entwicklung erfolgen!**

Wasserelektrolyse-Markthochlauf in D

Wie viel Elektrolyse-Kapazität wird benötigt? Wo?



- Elektrolyse-Bedarf wächst von 2-stelligen MW/a (heute) relativ schnell in den 1-stelligen GW/a (2030) an
- Teilweise Deckung des H₂-Bedarfs über Import denkbar

Quelle: NOW Studie IndWEDe: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, 2018.

Geplante Reallabore in Deutschland

11/20 haben H2/Elektrolyse als Kernkomponente!

Nr.	Reallabor	Anwendung	Elektrolyse
1	CCU P2C Salzbergen	Synthethisches Methan	?
3	DOWStade–GreenMeOH	Methanol	?
4	Element Eins	H2-Einspeisung in Gasnetz	100 MW
5	H2 Wyhlen	H2 und Wärme in versch. Sektoren	10 MW AEL
7	Norddeutsches Reallabor	Direkte H2-Nutzung und Erdgas-Beimischung	77 MW
9	ReWest100	H2 und O2 Nutzung, Kavernenspeicher	30 MW AEL
12	EnergieparkBL	H2 Nutzung in chem. Industrie, Kavernenspeicher	35 MW
13	GreenHydroChem	H2 für Raffinerien und chemische Industrie	50 MW (100 MW) PEM
14	H2Stahl	H2 für die Stahlproduktion	50 MW AEL
15	HydroHub Fenne	Grüner H2 für Industrie und Verkehr	17,5 MW PEM
18	RefLau	Grüner H2 für Industrie und Verkehr	10 MW PEM

Quelle: BMWi, Gewinner des Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende“, 2019.

am Bsp. PEM: Forschung & Entwicklung

Warum nötig? kW-Klasse Elektrolyseure ist verfügbar.

High durability
& reliability

High Efficiency &
low OPEX

◀ State of the art

**Target: Increase triangle area
to increase performance
(best orientation of triangle is
application dependent).**

Low CAPEX & low Footprint

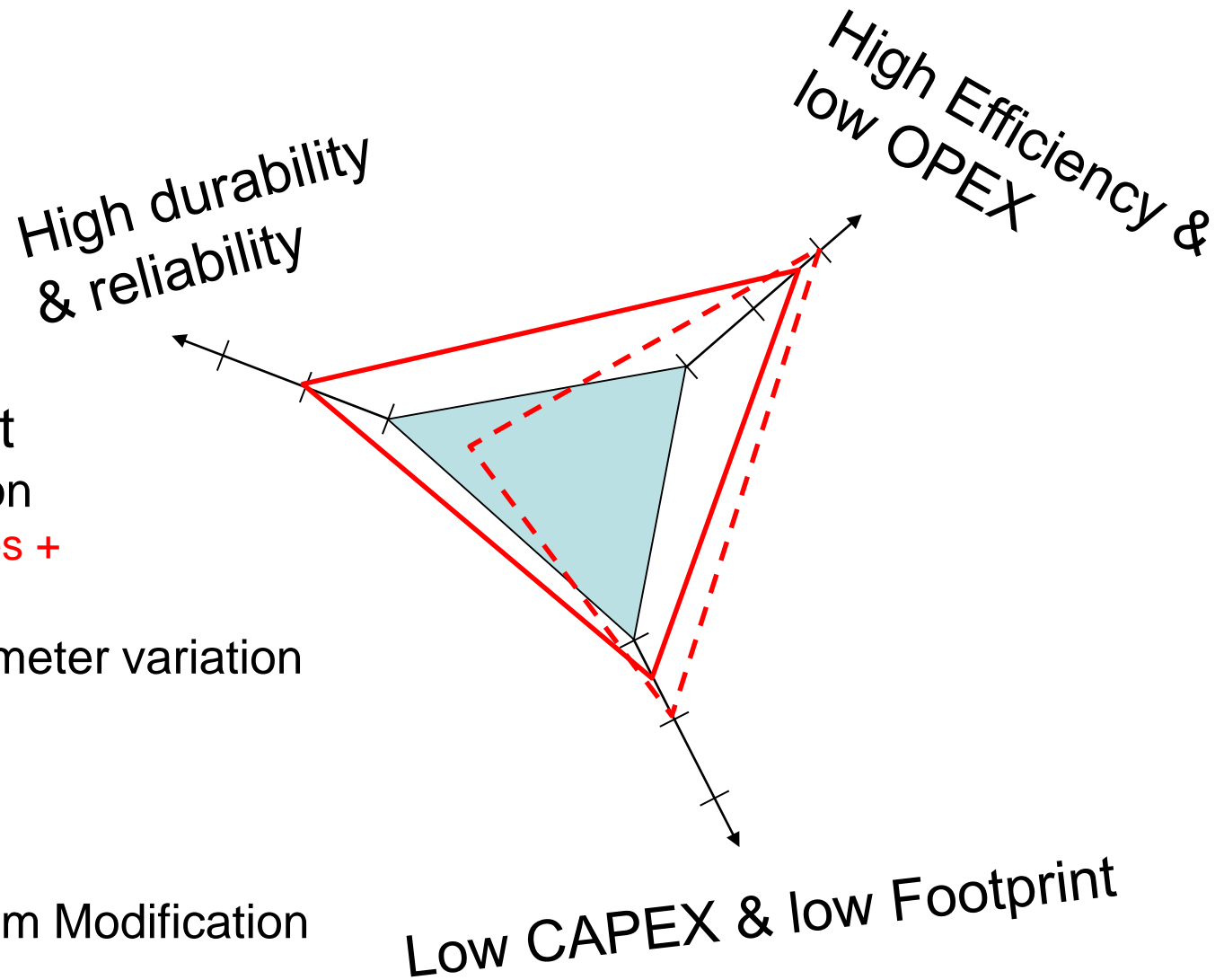
Quelle: B. Bensmann et al. „Electrolysis Cell Performance and Durability – a Contradiction in Terms?“ – 236th ECS Meeting, Atlanta, 2019.

PEM-Wasserelektrolyse

heute vs. morgen

	Stand der Technik	F&E Ziele
Membran	150-200 μm	dünnere, robuster, günstiger
Temperatur	50-70 $^{\circ}\text{C}$	höher
Typische Stromdichte	0,0 – 3,0 A/cm^2	höher
Elektroden	1-2 mg/cm^2 Platin, Iridium	niedriger
Typischer Druck	atm. – 50 bar	tendenziell höher
Spez. Energiebedarf	4,5 – 6,8 $\text{kWh}_{\text{el}}/\text{Nm}^3 \text{H}_2$	niedriger
Investitionskosten	800-1600 $\text{€}/\text{kW}$	niedriger
...		

Quelle: M. Carmo et al., A comprehensive review on PEM water electrolysis, JHE 38 12 4901-4934, 2013. |||
U. Babic et al., Identifying Critical Gaps for Polymer Electrolyte Water Electrolysis Development, JES 164 4 F387-F399, 2017.



State of the art

- Material variation

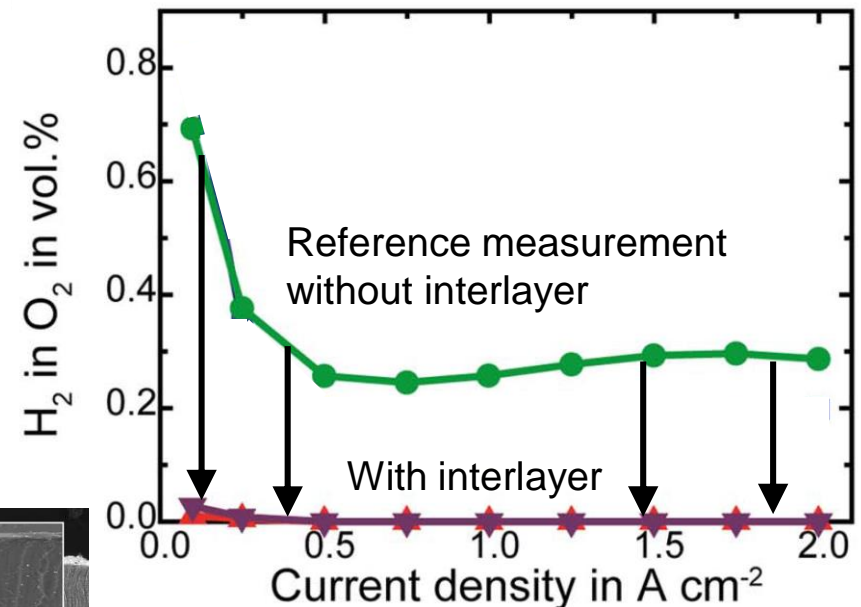
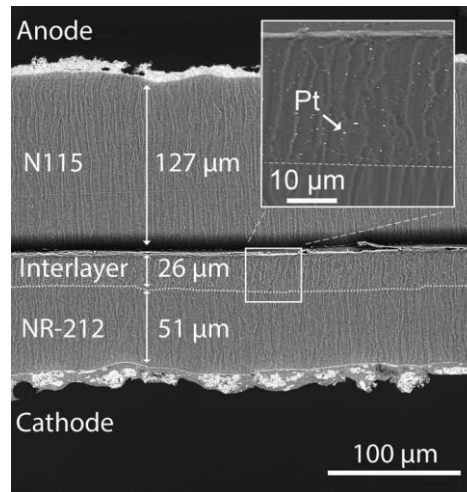
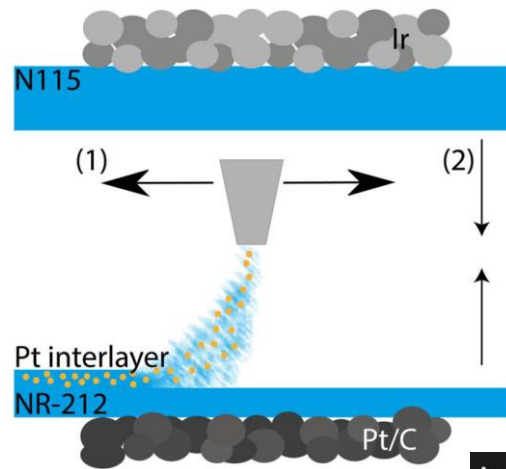
Thinner membranes +

- Operating parameter variation

- Additional system Modification

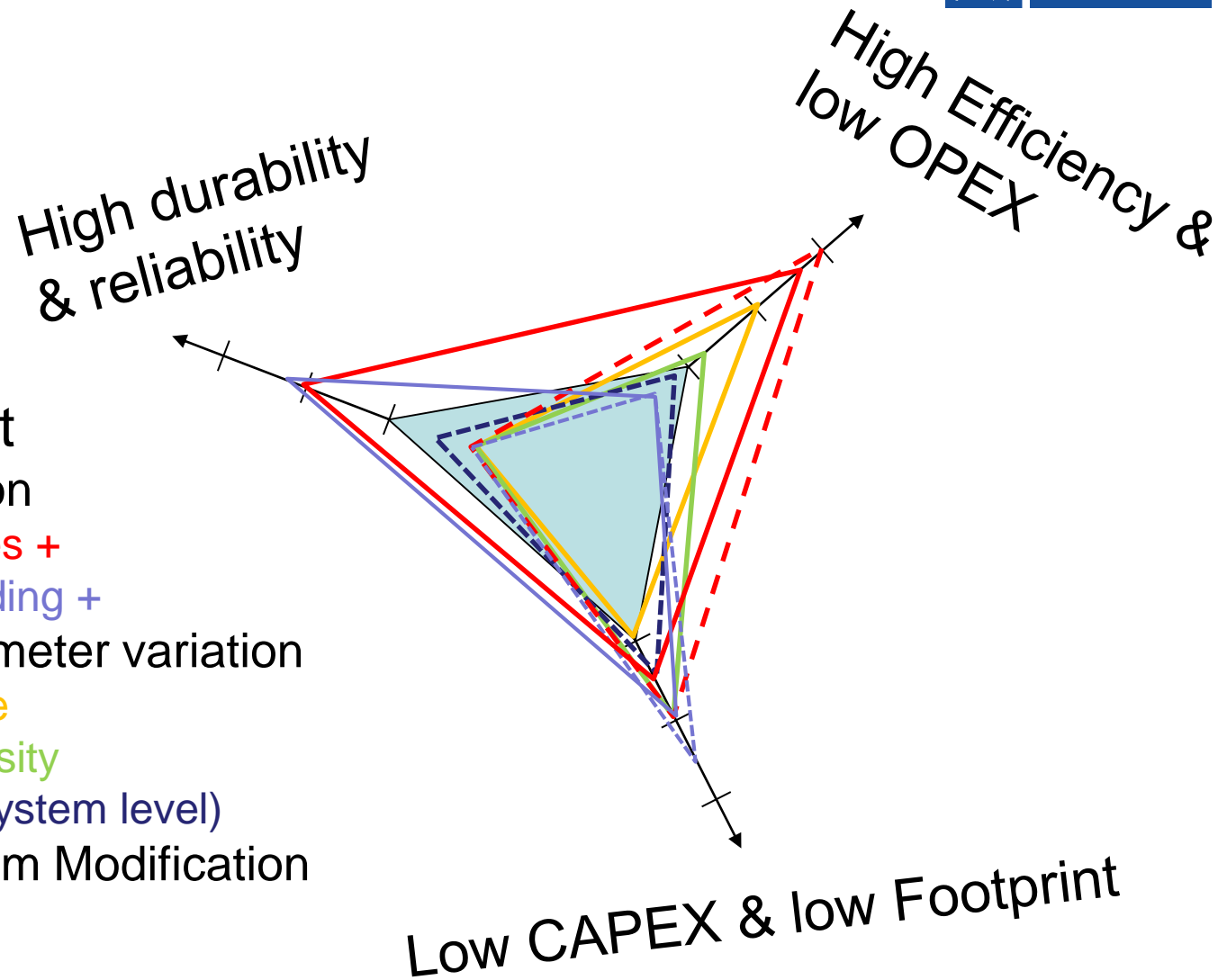
Pt/PTFE-Interlayer

Dünne Membran → Hoher Gasübergang → Effizienzeinbußen
und Sicherheitsproblem



- Pt particles (Sigma-Aldrich, particle size < 50 nm)
- Nafion dispersion (D2020, Ion-power)
- Interlayer thickness: $26 \pm 1 \mu\text{m}$
- Pt loading: 0.02 mg cm^{-2}

[11] *J. Electrochem. Soc.*, **165** (16) 2018. Klose and Trinke et al. (2018),



State of the art

- Material variation

Thinner membranes +

Lower catalyst loading +

- Operating parameter variation

Higher temperature

Higher current density

Higher pressure (system level)

- Additional system Modification

Pt/PTFE-Interlayer

Catalyst additives

Quelle: B. Bensmann et al. „Electrolysis Cell Performance and Durability – a Contradiction in Terms?“ – 236th ECS Meeting, Atlanta, 2019.

- 1) Die Wasserelektrolyse ist eine Schlüsseltechnologie der Energiewende!
 - EE-Ausbau forcieren
 - H₂ ist als Energieträger das Bindeglied in der Sektorkopplung
 - Defossilisierung in sämtlichen Sektoren
- 2) Jede Wasserelektrolyse-Technologie hat ihre Daseinsberechtigung!
 - (Lokale) Anforderungen erfordern besondere Stärken und „verzeihen“ Schwächen.
 - Technologie-Mix von Vorteil
- 3) Der Markthochlauf muss “Hand in Hand” mit der Forschung und Entwicklung erfolgen!
 - (Industrie-)Erfahrungen jetzt mit verstärktem Markthochlauf sammeln
 - Forschungsergebnisse in langfristige Strategie integrieren

Herzlich willkommen auf der Webpräsenz des EFZN-
Kompetenznetzwerkes Wasserelektrolyse

„Ihr H₂/Elektrolyse-Ansprechpartner
in der Region“

[Link zur Website](#) (befindet sich derzeit im Aufbau)



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!

Kontaktdaten

Michel Suermann

suermann@ifes.uni-hannover.de



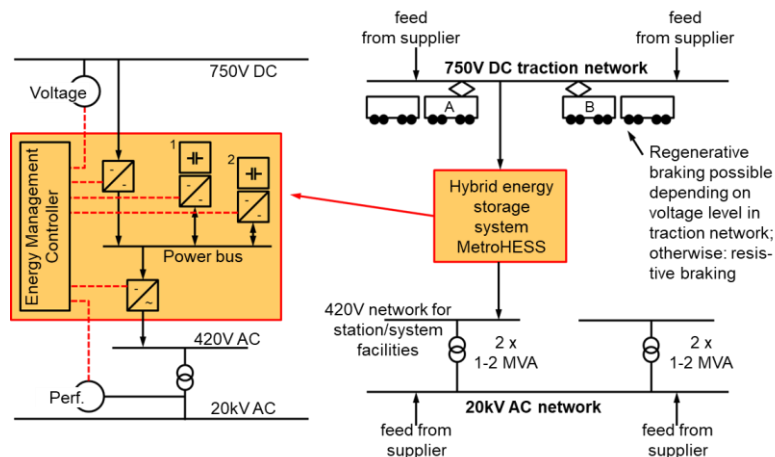
Hinweis: Auf den nächsten 4 Folien finden Sie weitere, allgemeine Informationen zu den Forschungsgebieten des Fachgebiets für elektrische Energiespeichersysteme (IfES-EES) sowie die dazugehörigen Ansprechpartner.

Forschung am Fachgebiet für elektrische Energiespeichersysteme (1/3)

Übergeordnete Zielsetzung: Gestaltung und Betriebsführung von vernetzten Energie- und Stoffwandlungssystemen und Weiterentwicklung ausgewählter Komponenten und Prozesse

Technologieauswahl- und Auslegungsmethodiken für elektrische Energiespeichersysteme

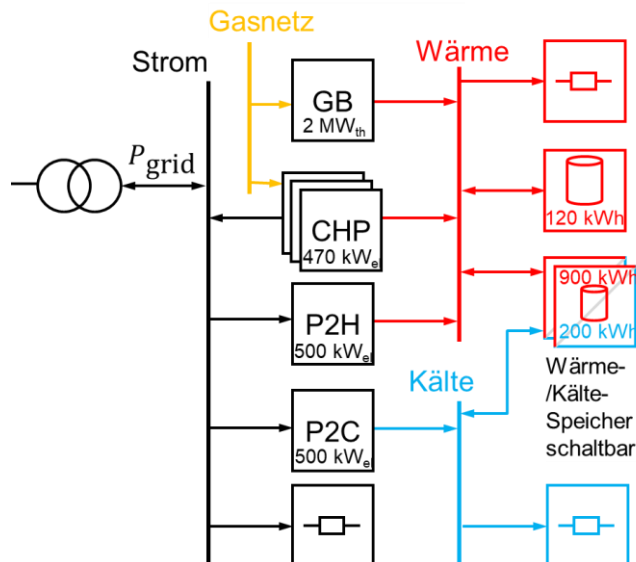
Gestaltung von Fahrzeugenergiesystemen zur Nutzung erneuerbarer Energien in der Straßenmobilität und Luftfahrt



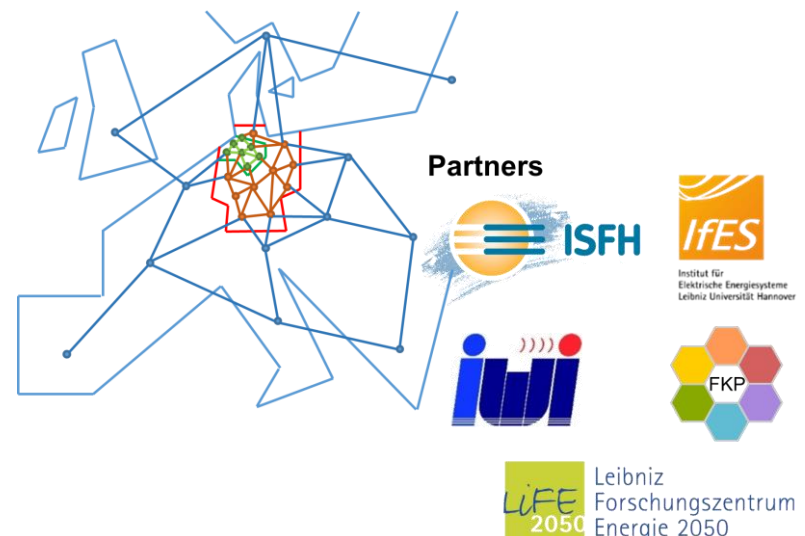
Forschung am Fachgebiet für elektrische Energiespeichersysteme (2/3)

Übergeordnete Zielsetzung: Gestaltung und Betriebsführung von vernetzten Energie- und Stoffwandlungssystemen und Weiterentwicklung ausgewählter Komponenten und Prozesse

Gestaltung und flexiblierter Betrieb von stationären Power-to-Heat/Cold und Power-to-Gas-Systemen

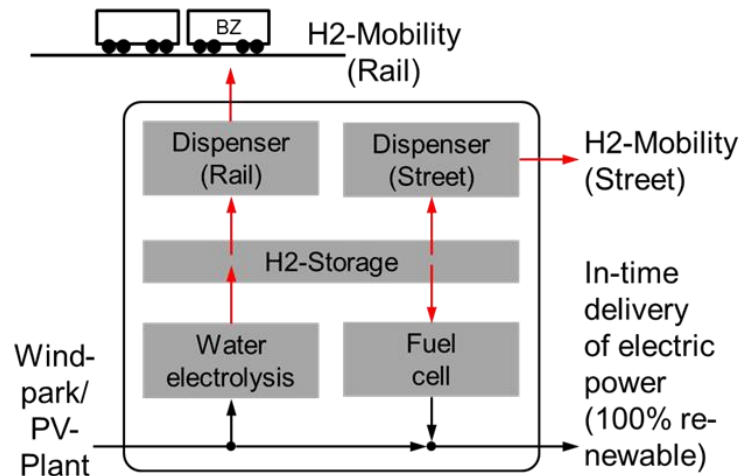


Energiesystemanalyse

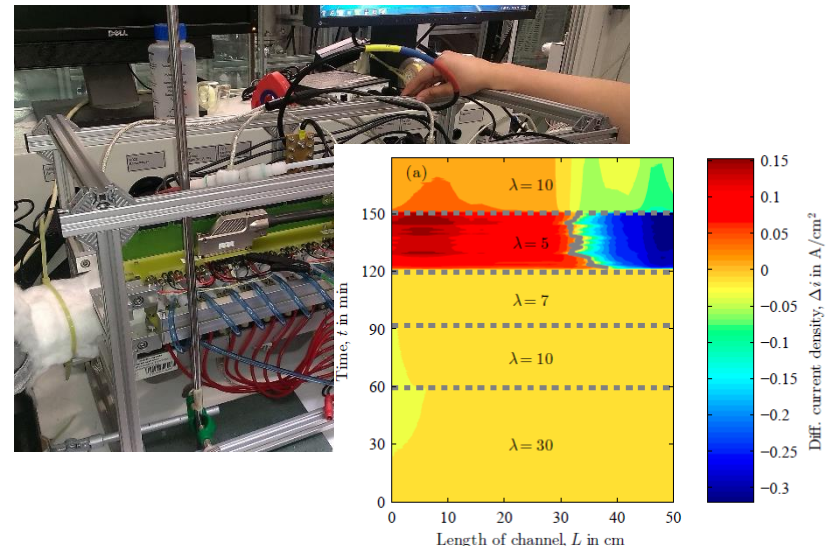


Methodisch verbindendes Element: kombinierter Einsatz von Modellierungs-/ Simulationswerkzeugen und experimenteller Charakterisierung/Validierung

Techno-ökonomische Bewertung von Geschäftsmodellen im Bereich Flexibilitäten für Stromsysteme und für die H₂-Bereitstellung



PEM-Wasserelektrolyse im Kontext von Power-to-Gas-Anwendungen: Material- und Apparateentwicklungen



Ihre Ansprechpartner

- Prof. Dr.-Ing. Richard Hanke-Rauschenbach
Institutsleiter
hanke-rauschenbach@ifes.uni-hannover.de
- Dr.-Ing. Astrid Bensmann
Gruppenleiterin Speichersystemtechnik
astrid.bensmann@ifes.uni-hannover.de
- Dr.-Ing. Boris Bensmann
Gruppenleiter Wasserelektrolyse
boris.bensmann@ifes.uni-hannover.de