

Entwicklungen im Bereich Wasserstofftechnologien

PD Dr.-Ing. habil. Matthias Jahn
Fraunhofer IKTS Abteilung Energie- und Verfahrenstechnik
TU Dresden, Professur für chemische Verfahrenstechnik

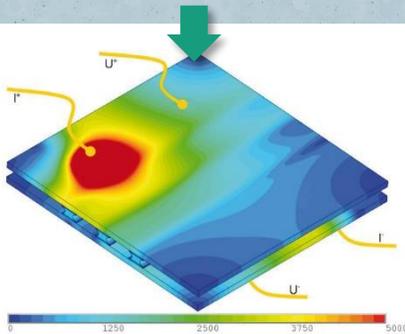
Leipzig, 11.11.2024

Fraunhofer IKTS

Zweitgrößtes Wasserstoff-Institut bei Fraunhofer



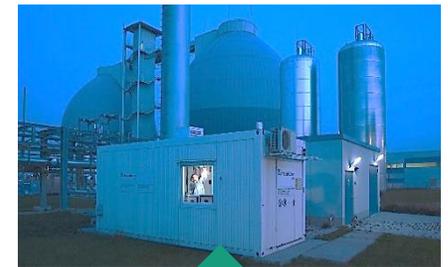
Oxidkeramische Zellen – vom Material zum Stack



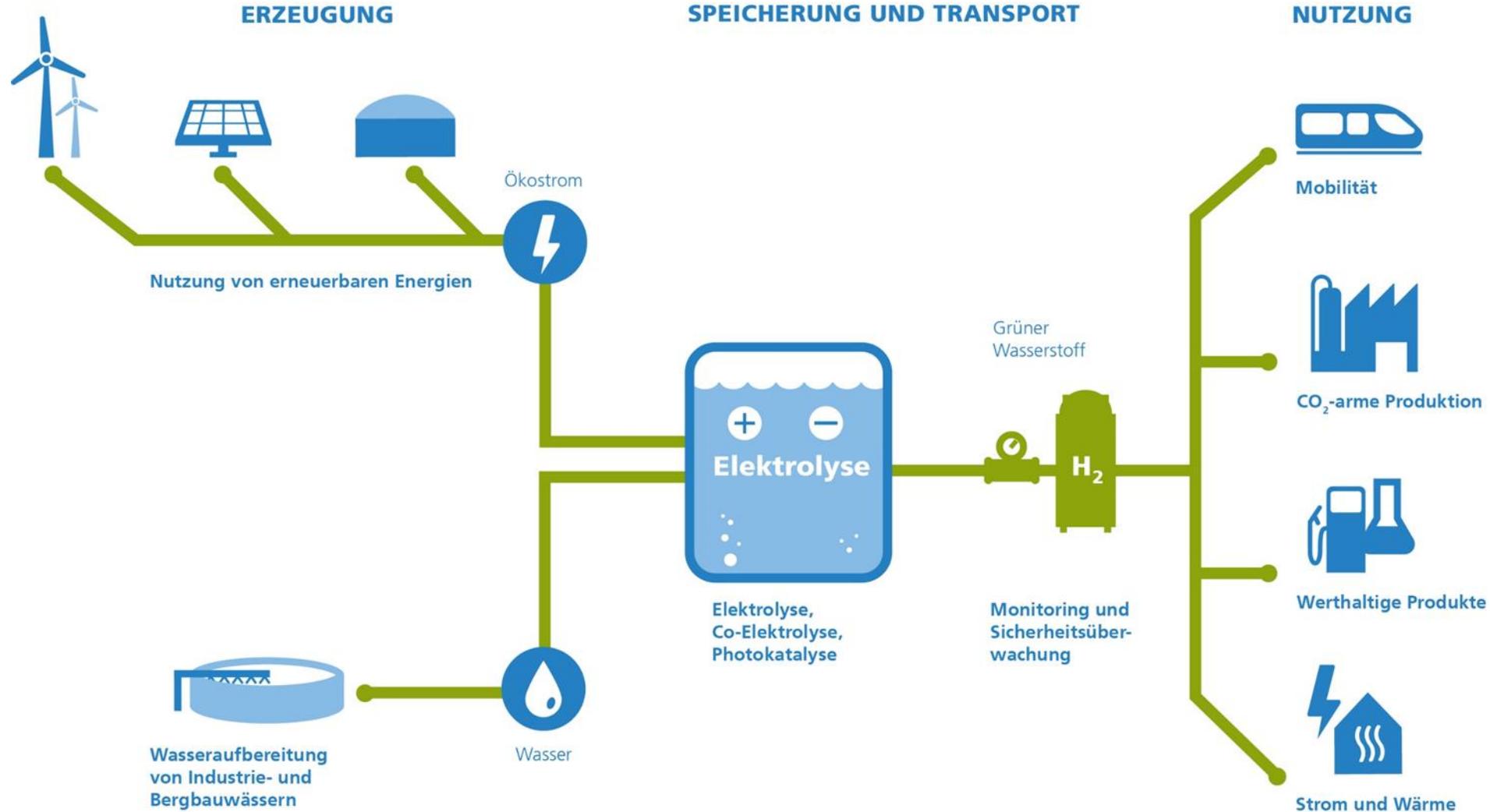
- Zweitgrößtes Wasserstoff-Institut der FhG
- Führender Elektrolyse-Entwickler
- 25 Jahre Erfahrung in der Stackentwicklung für Brennstoff und Elektrolysezellen
- Grüner Wasserstoff für industrielle Anwendung

Systementwicklung – vom verfahrenstechnischen Modell zum funktionsfähigen Prototypen

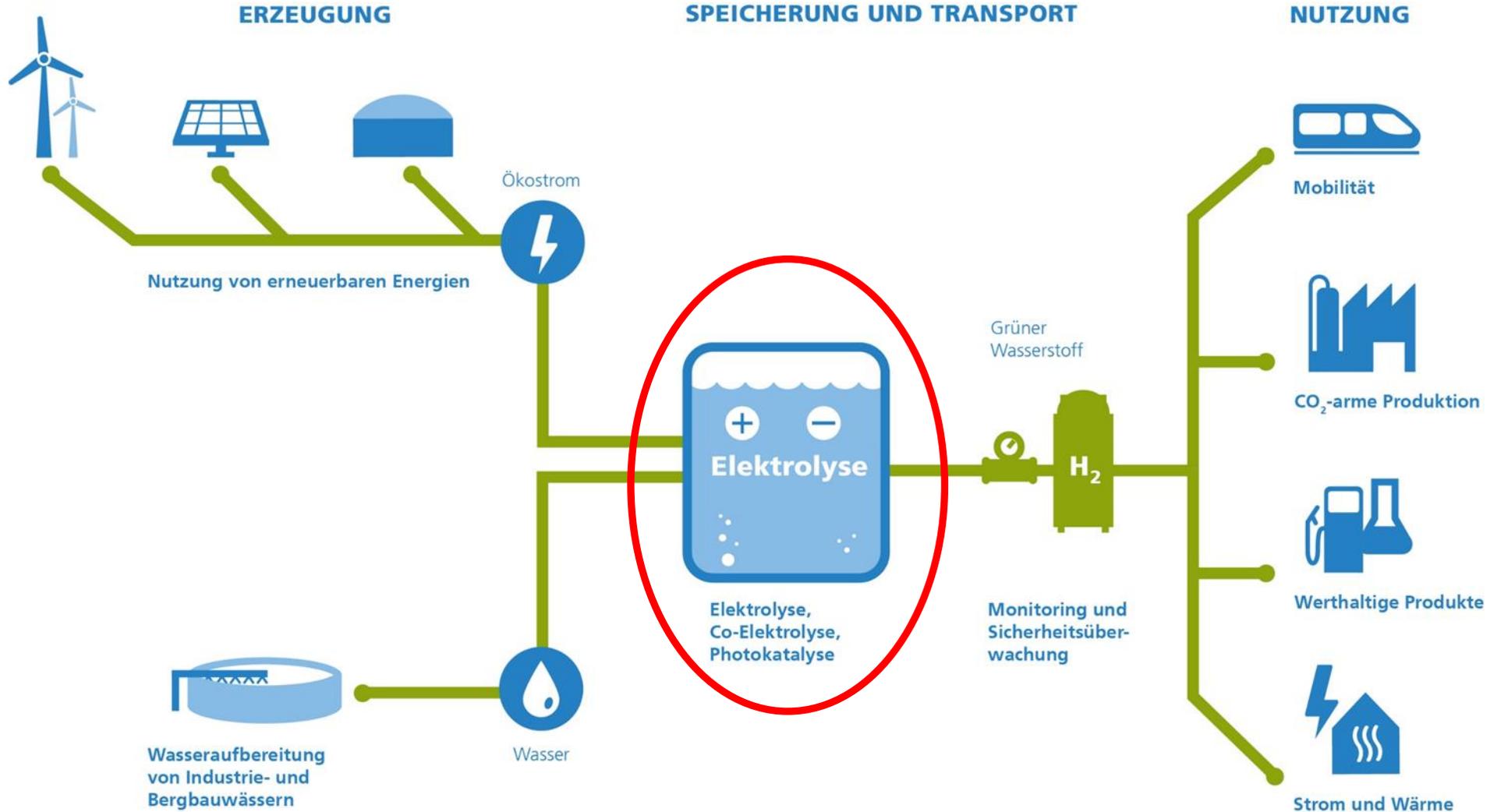
Industrieller Einsatz – Integration, Langzeittest und Transfer



Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff



Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff



Erzeugung von grünem Wasserstoff

Elektrolysetechnologien

Alkalische Elektrolyse (AEL)



- Etabliert in der Industrie
- Korrosive Materialien
- Geringe Stromdichte
- 4.2–5.9 kWh/Nm³ H₂

PEM-Elektrolyse (PEMEL)



- Demonstrations- und tw. industrieller Maßstab
- Geringere Lebensdauer
- 4.2–5.6 kWh/Nm³ H₂

Hochtemperaturelektrolyse (SOEL)



- Demonstrationsmaßstab
- Temperatur ~800 °C
- Aktuell kein Druckbetrieb
- 3.0–4.5 kWh/Nm³ H₂ + CO

Vorteile SOEL:

- Produktion von Synthesegas (CO + H₂) mit SOEL
- Hohes Temperaturlevel ermöglicht Wärmeintegration → höherer Wirkungsgrad
- Reverse-Betrieb möglich → Betrieb als SOFC

Stand der Technik

Alkalische Elektrolyse



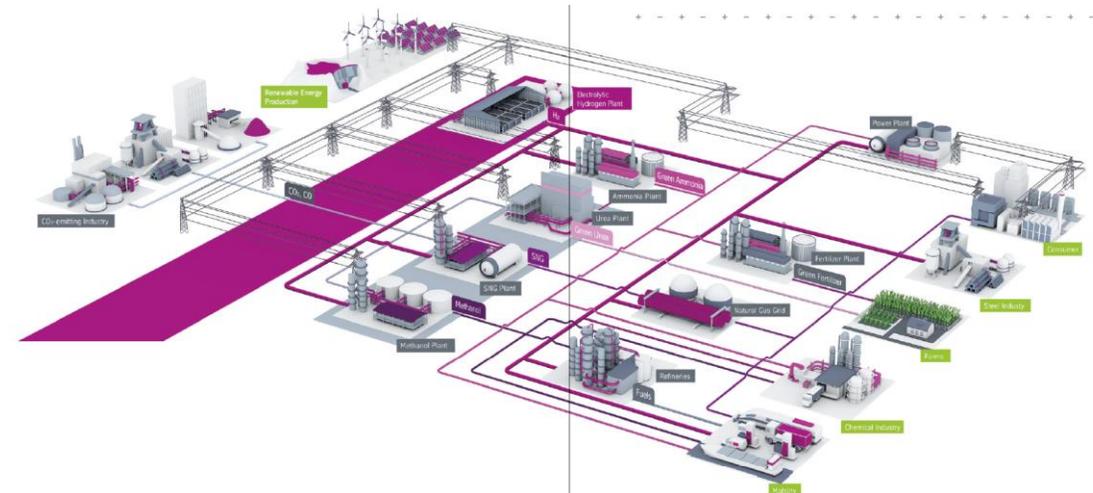
Our 20 MW electrolyzer unit



20 MW module

Design capacity H ₂	4000 Nm ³ /h
Power consumption (DC) at start up	4.5 kWh/Nm ³
Water (demineralized) consumption	<1l/Nm ³ H ₂
Standard operation window	10% - 100%
H ₂ product quality at electrolyzer outlet	> 99.9% purity (dry basis)
H ₂ product quality after treatment (optional)	as required by customer, up to 99.999%
H ₂ product pressure at electrolyzer outlet	~300 mbar
Operating temperature	up to 90 °C

All figures above are to be understood as "expected values" and may vary depending operating conditions



<p>A leading supplier for electrolysis plants & equipment</p>	<p>600 electrochemical projects worldwide</p>	<p>> 10 GW of power installed</p>	<p>1 GW/year supply chain established</p>
------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------	------------------------------------------------------

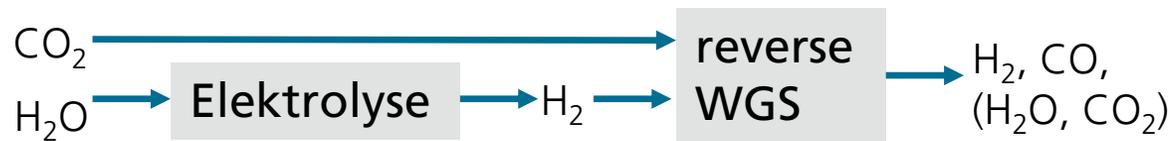
Hochtemperaturelektrolyse

Grundlagen der Co-Elektrolyse

Wasserelektrolyse + Reverse Wassergas-Shift-Stufe

- Etablierter Prozess zur Bereitstellung von H_2O und CO_2

- $x_{\text{CO}_2, \text{syngas}} = 0,23$

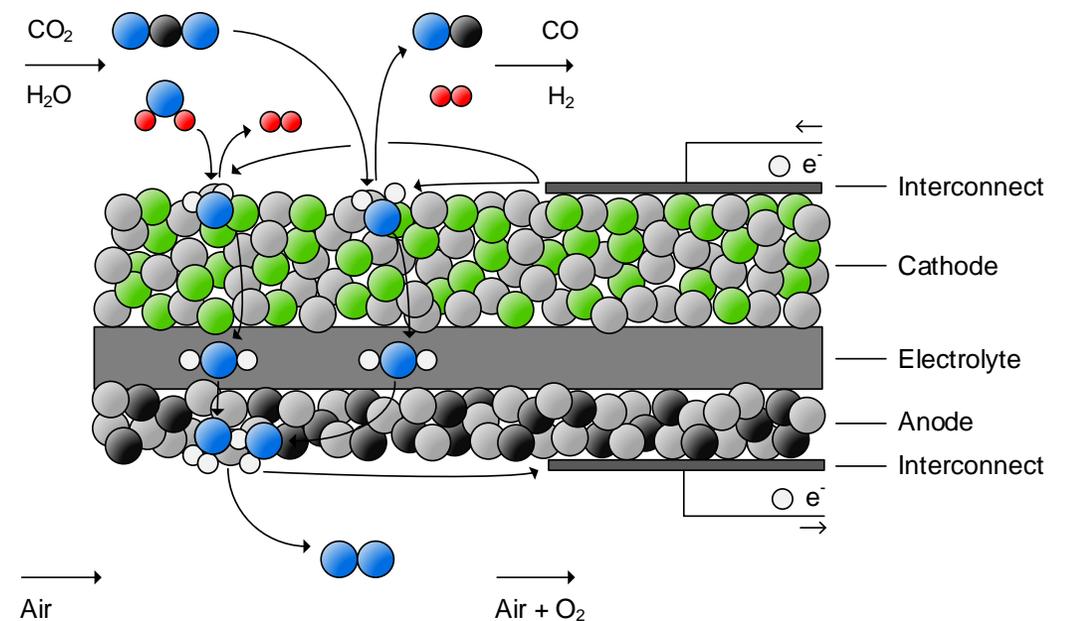
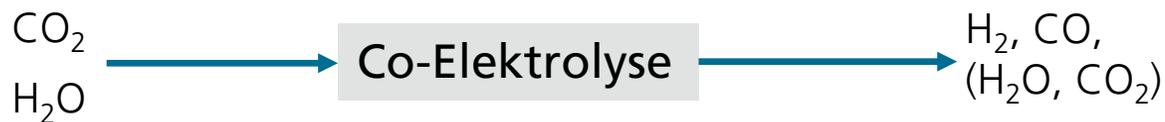


Co-Elektrolyse von H_2O und CO_2

- Einstufiger Prozess zu Synthesegas

- $x_{\text{CO}_2, \text{syngas}} = 0,08$

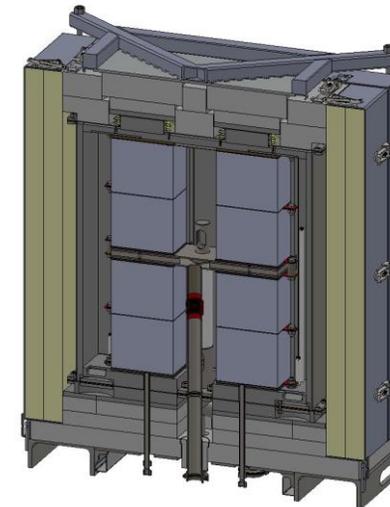
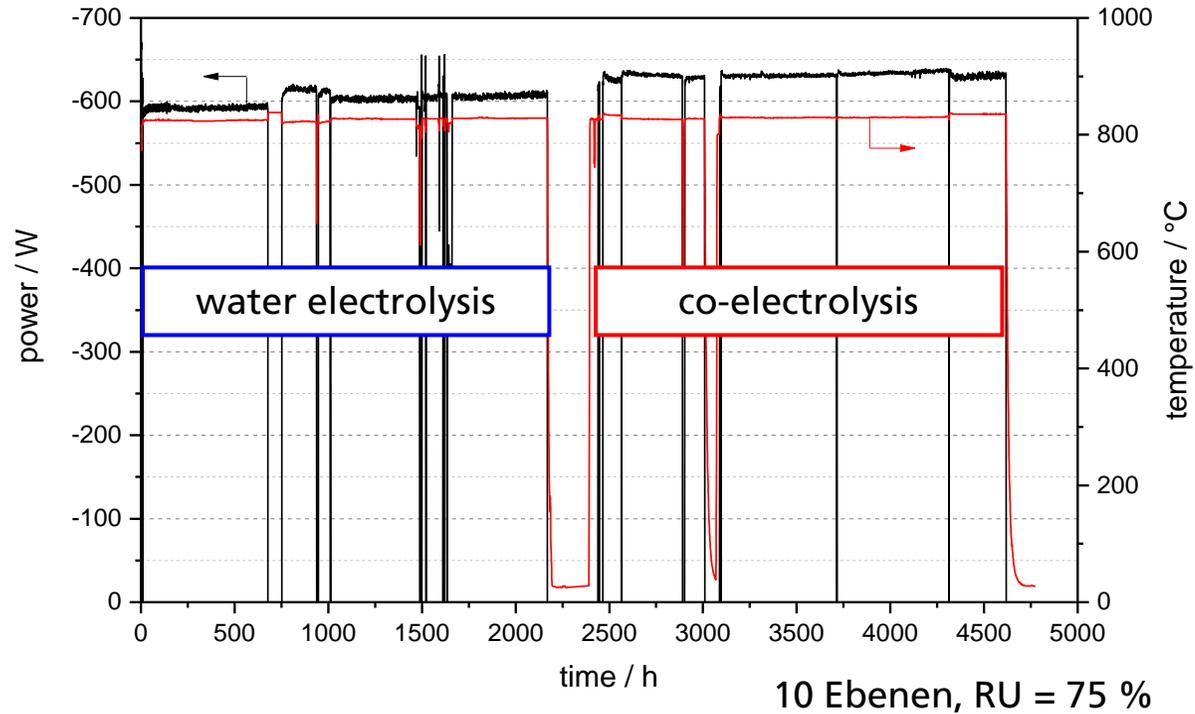
- Möglichkeit der internen Reformierung



Co-Elektrolyse am Fraunhofer IKTS

Kompetenzen und Stand der Entwicklung

■ Langzeitstabiler Betrieb

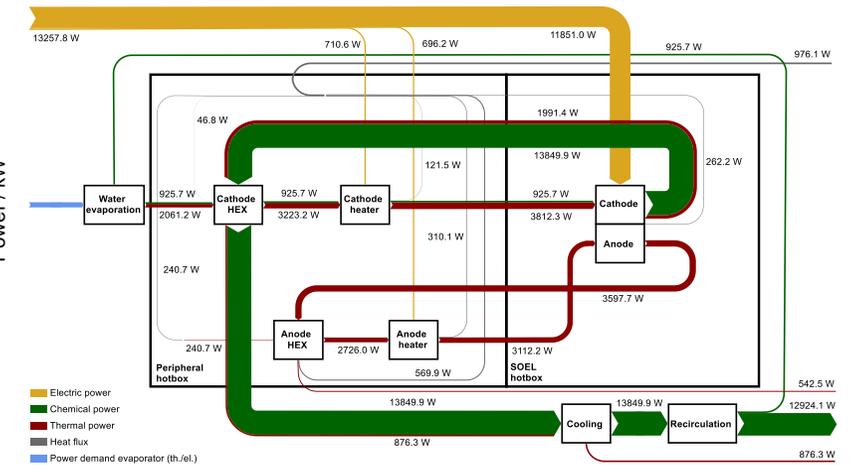
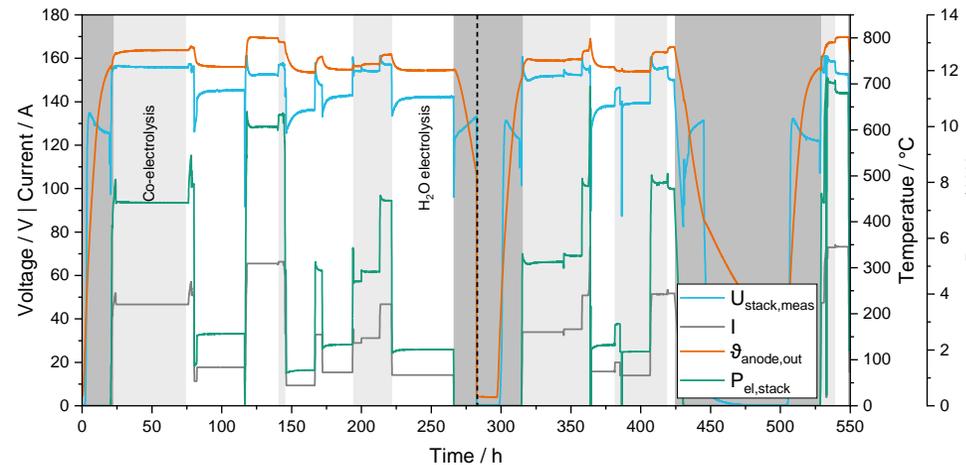
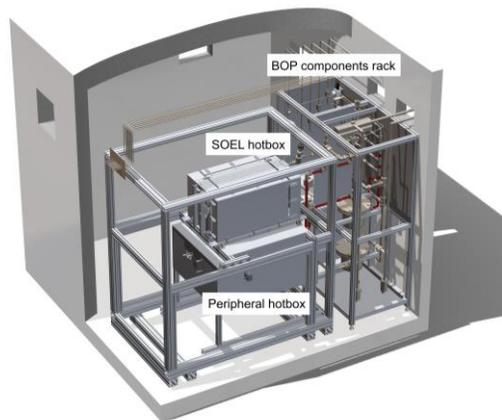


■ Entwicklung von Stackmodulen für höhere Leistungen

Process demonstration in field

Process demonstration of co-electrolysis in containerized scale

- Demonstration of stand-alone electrolyzers
- Operation in water and co-electrolysis mode under full and part-load
- Coupling with Fischer-Tropsch part of the biogas-based process planned
- System size in this case: $P_{el,DC} = 12 \text{ kW}$
 - SOEC hotbox with 120 cells at $\approx 800 \text{ }^\circ\text{C}$ / 1.3 V / 600 mA/cm^2



Solid oxide electrolysis

Technological maturity

- Maturity of SOEL is still often regarded to be fairly low in literature → in contradiction with current industrial efforts
- Current upscaling of manufacturing capacities and plant scales show that technology has reached deployment phase → IKTS has teamed up with thyssenkrupp nucera for industrialization of its SOEL technology



Hochtemperaturelektrolyse

Entwicklungsstand bei der Kommerzialisierung



Steam Electrolyser Unit HyLink 200:

Left: Electrolyser installation at the Salzgitter Flachstahl steel plant (© Salzgitter AG); Middle: Sunfire-HyLink SOEC electrolyser (© Sunfire Gmb
Right: Drone shot of the GrInHy2.0 installation at the Salzgitter Flachstahl steel plant (© Salzgitter AG)

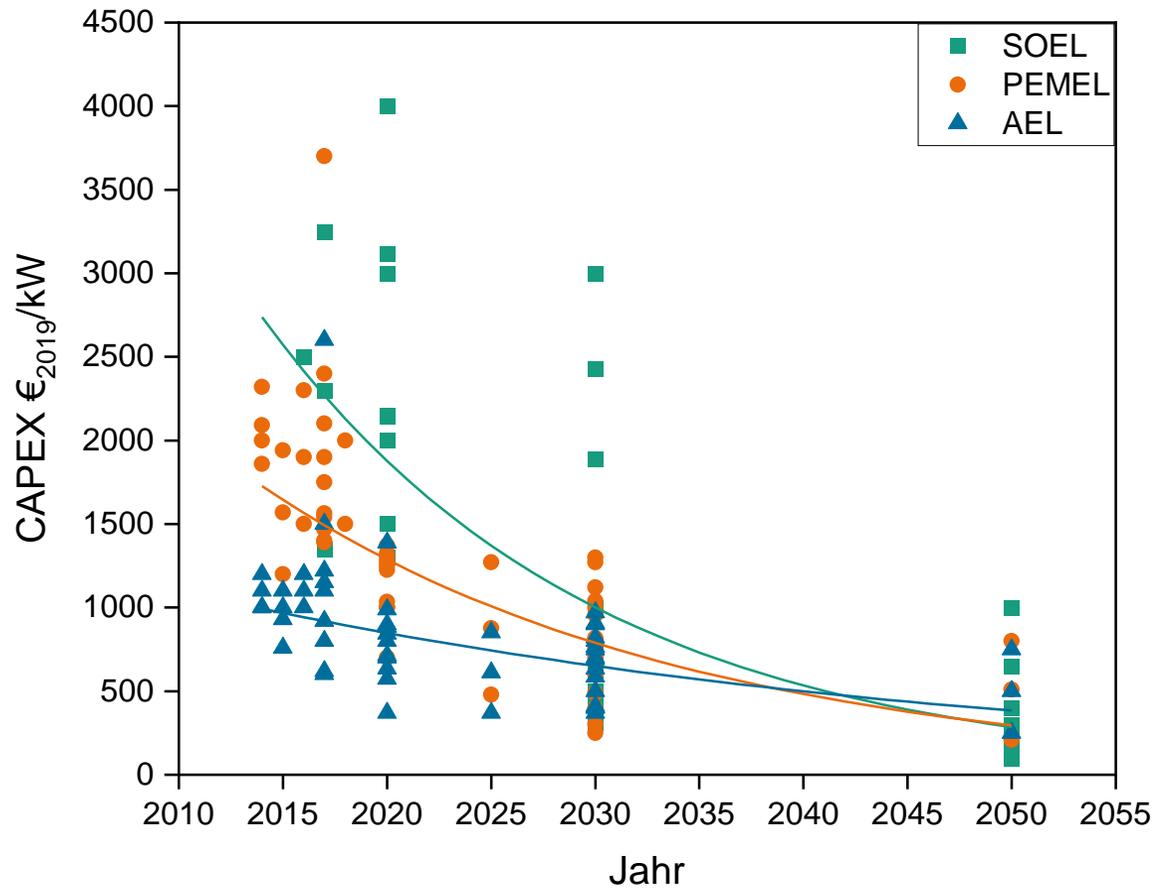
Der produzierte grüne Wasserstoff wird direkt in das Wasserstoffnetz der Salzgitter Flachstahl eingespeist – bis dato konnten fast 100 Tonnen des Gases in den Glühprozessen und Verzinkungsanlagen zur Stahlveredelung eingesetzt werden

Parameter	Value
Nominal Power AC	720 kW _{el AC}
H ₂ Production Rate	200 Nm ³ /h
Part Load Ability	15...100 %
Ramp-up Time	5 min

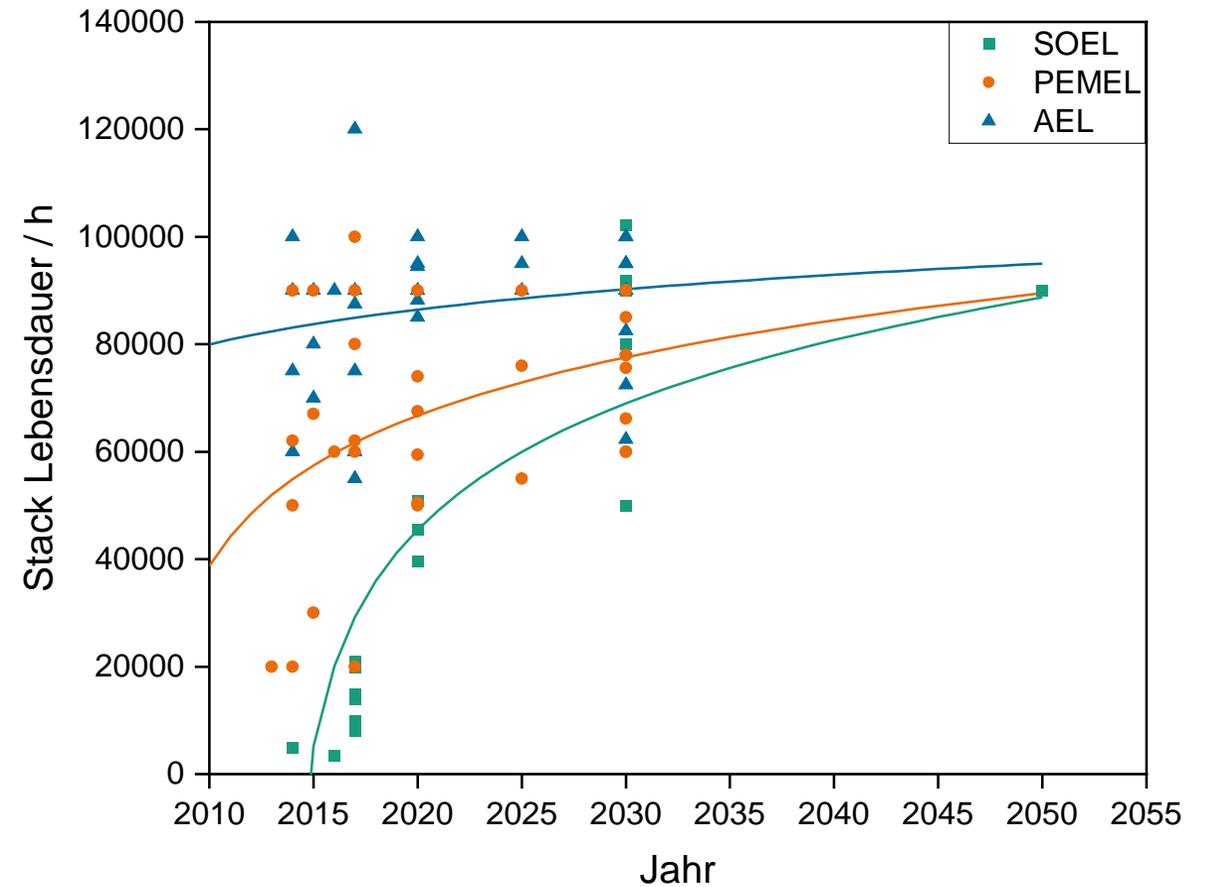
Elektrolysetechnologien

Entwicklungspotentiale und Herstellungskosten

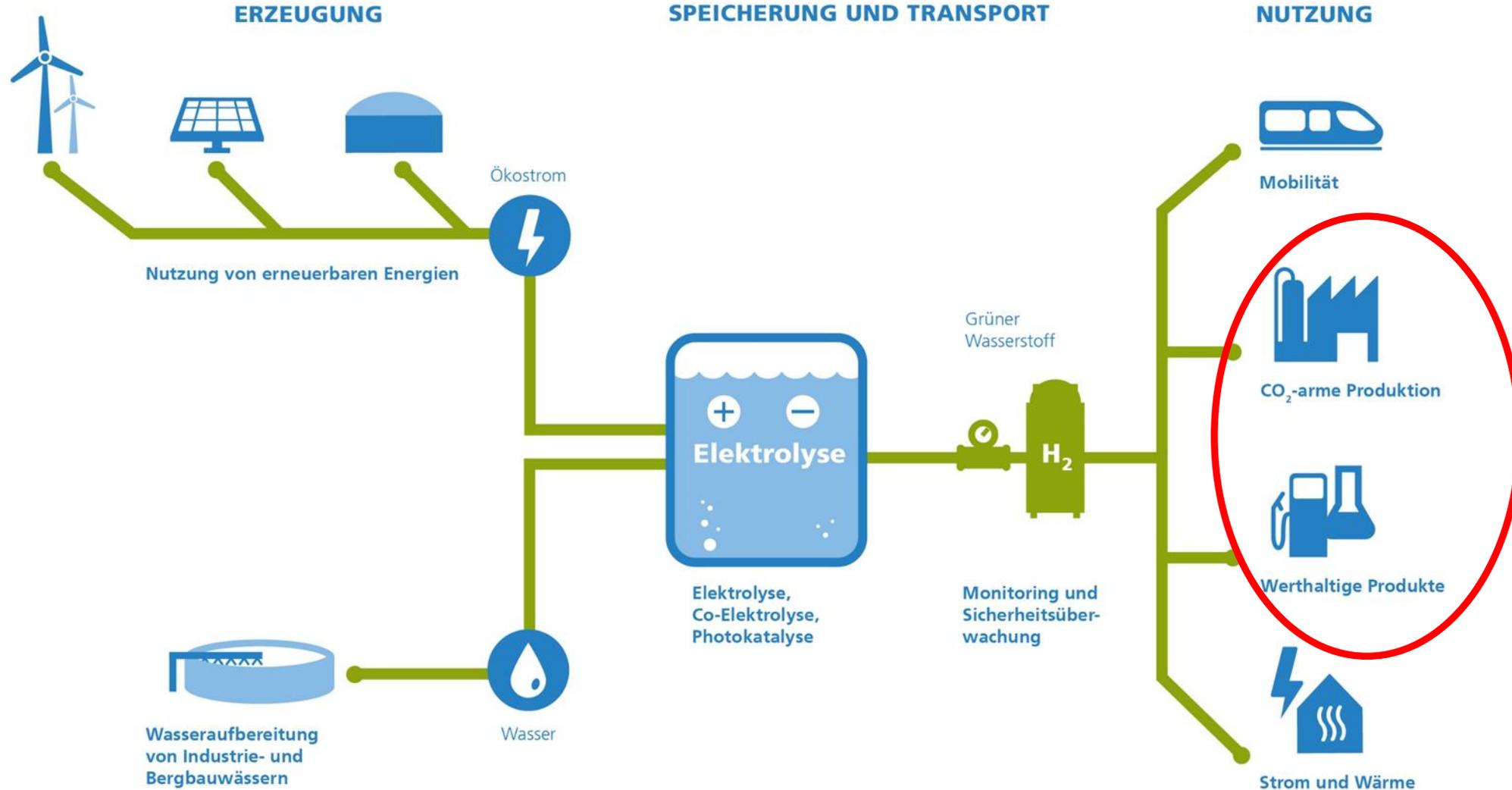
Investitionskosten



Lebensdauer



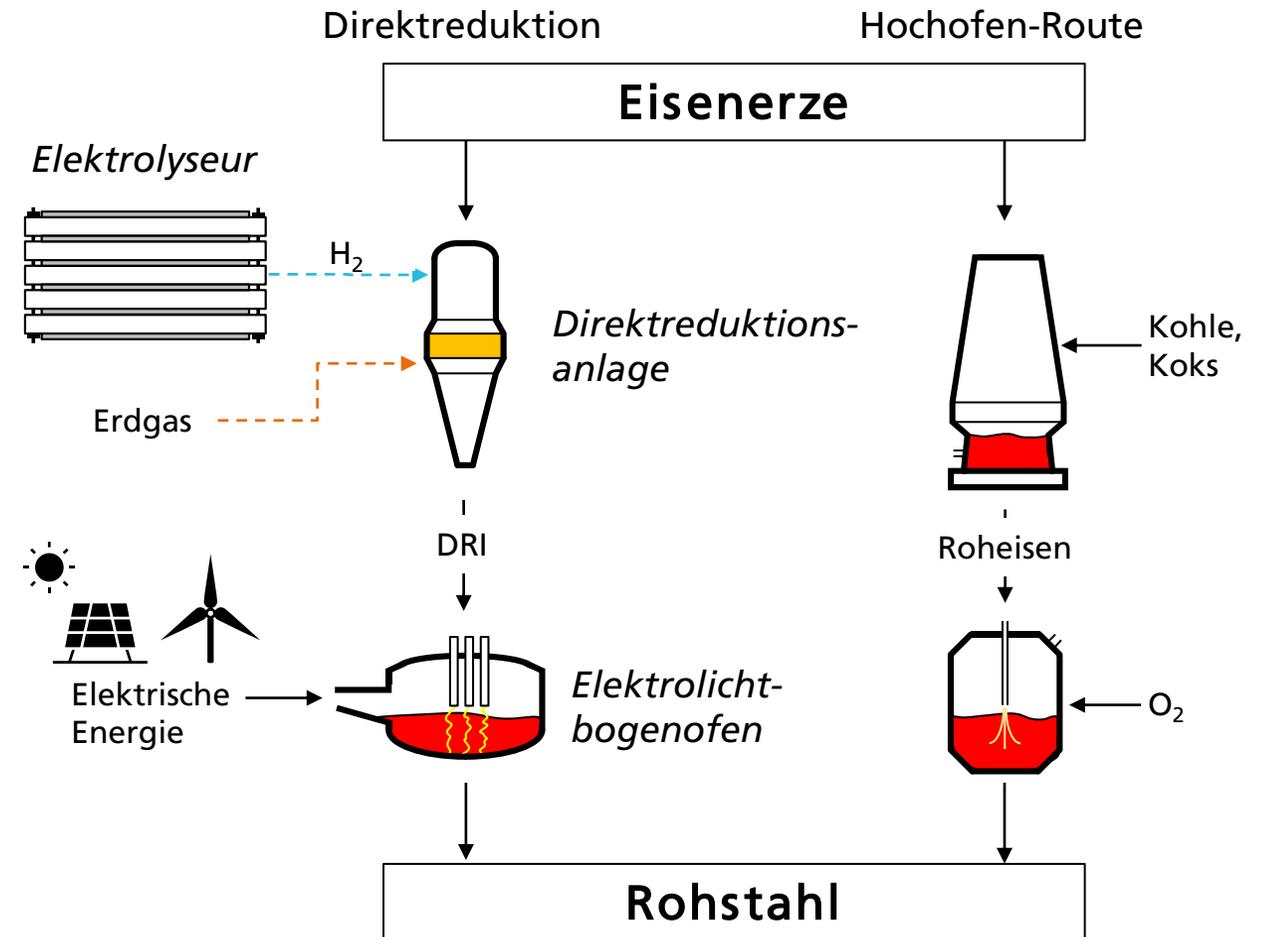
Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff



Grüner Wasserstoff für die Stahlproduktion

Grundlagen

- Stand der Technik:
Hochofenbasierte Rohstahlproduktion
 - CO₂-Emissionen unvermeidbar
 - Reduktionsreaktion mit Koks
$$2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 4 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$$
- Wasserstoff/Erdgas-basierte Rohstahlproduktion
 - Nahezu CO₂-freie Stahlerzeugung bei Einsatz von grünem H₂ möglich
 - Reduktionsreaktion mit Wasserstoff
$$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$$

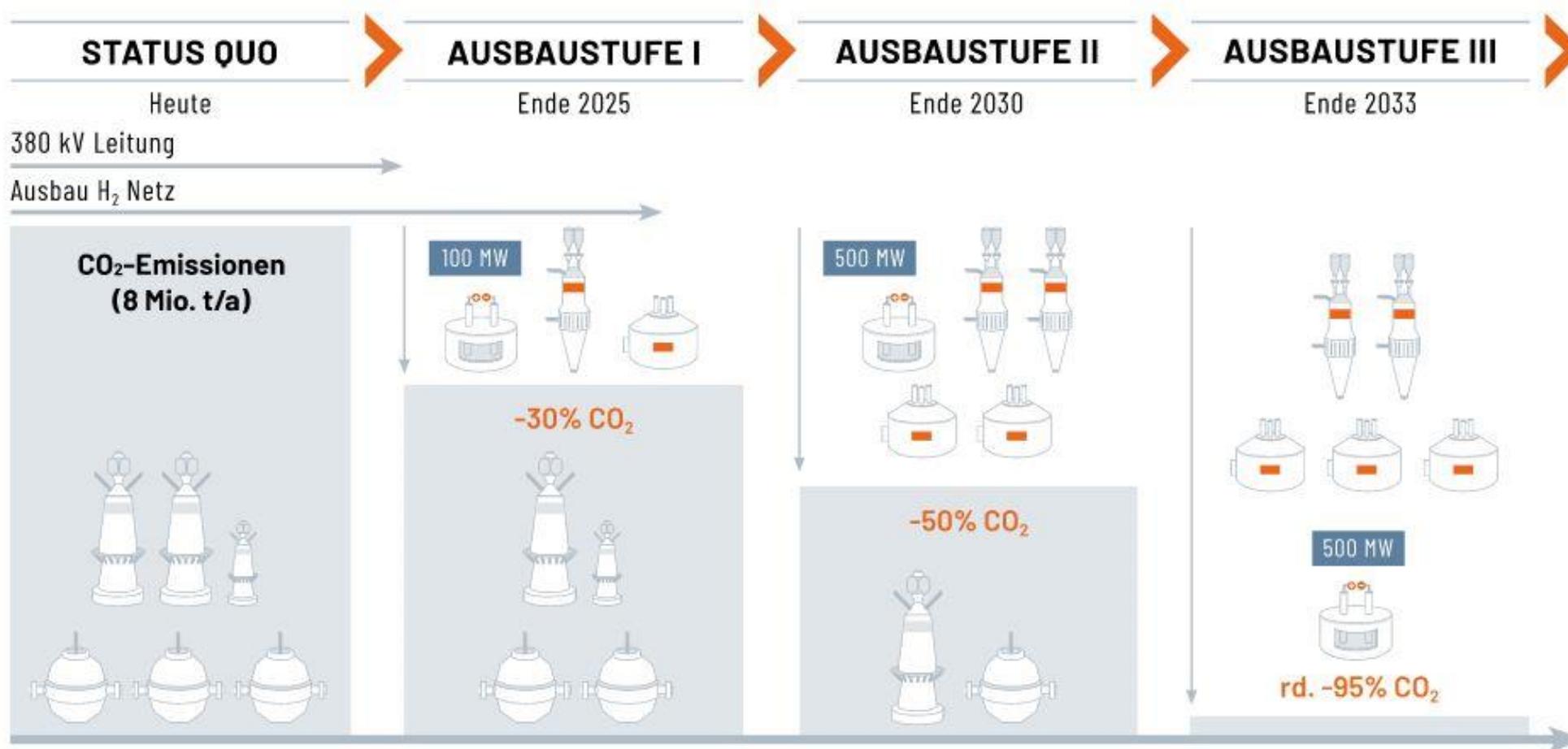


Grüner Wasserstoff für die Stahlproduktion

SALCOS®-Vorhaben der Salzgitter AG

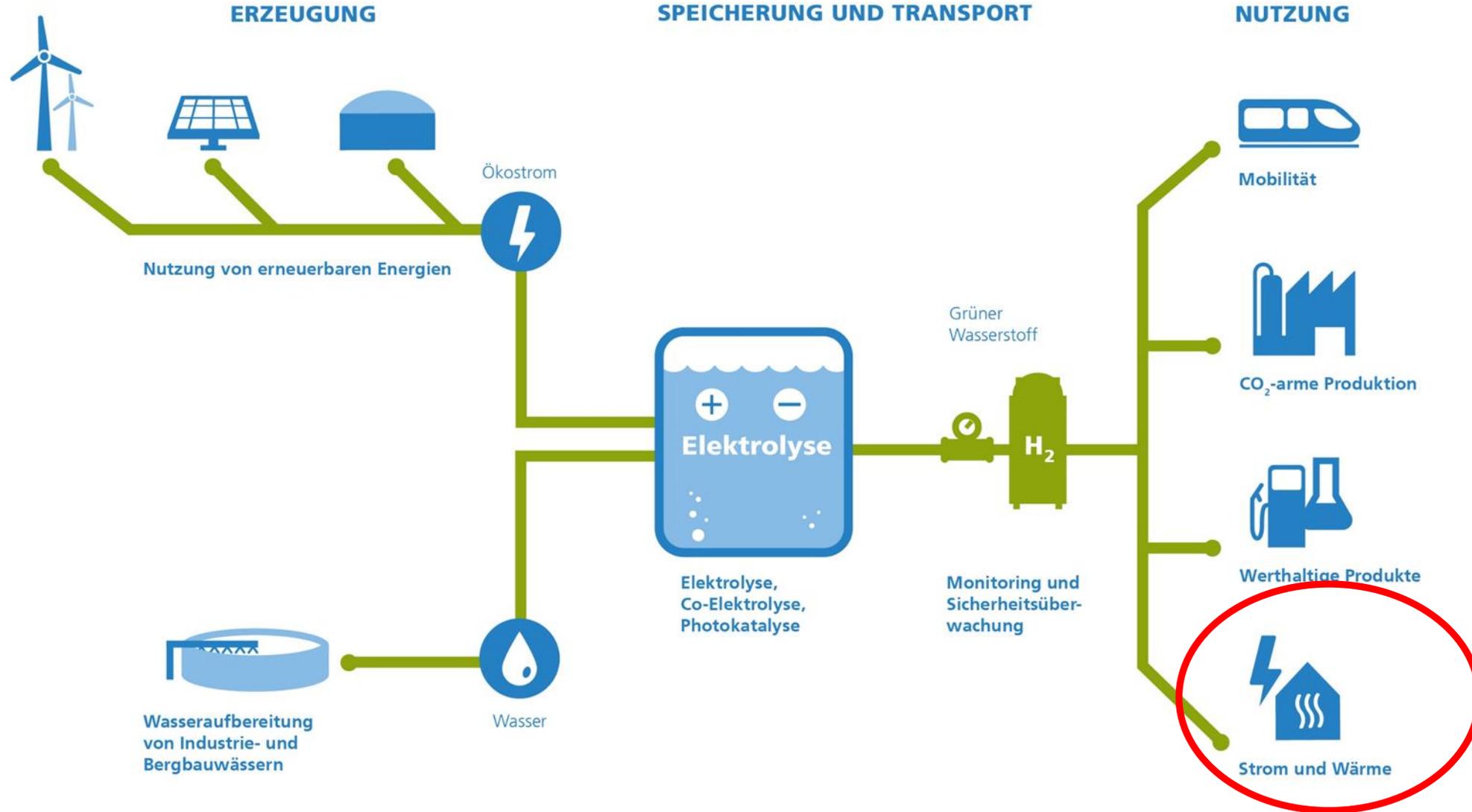


SALZGITTERAG
People, Steel and Technology



▪ <https://salcos.salzgitter-ag.com/en/salcos.html#c141547>

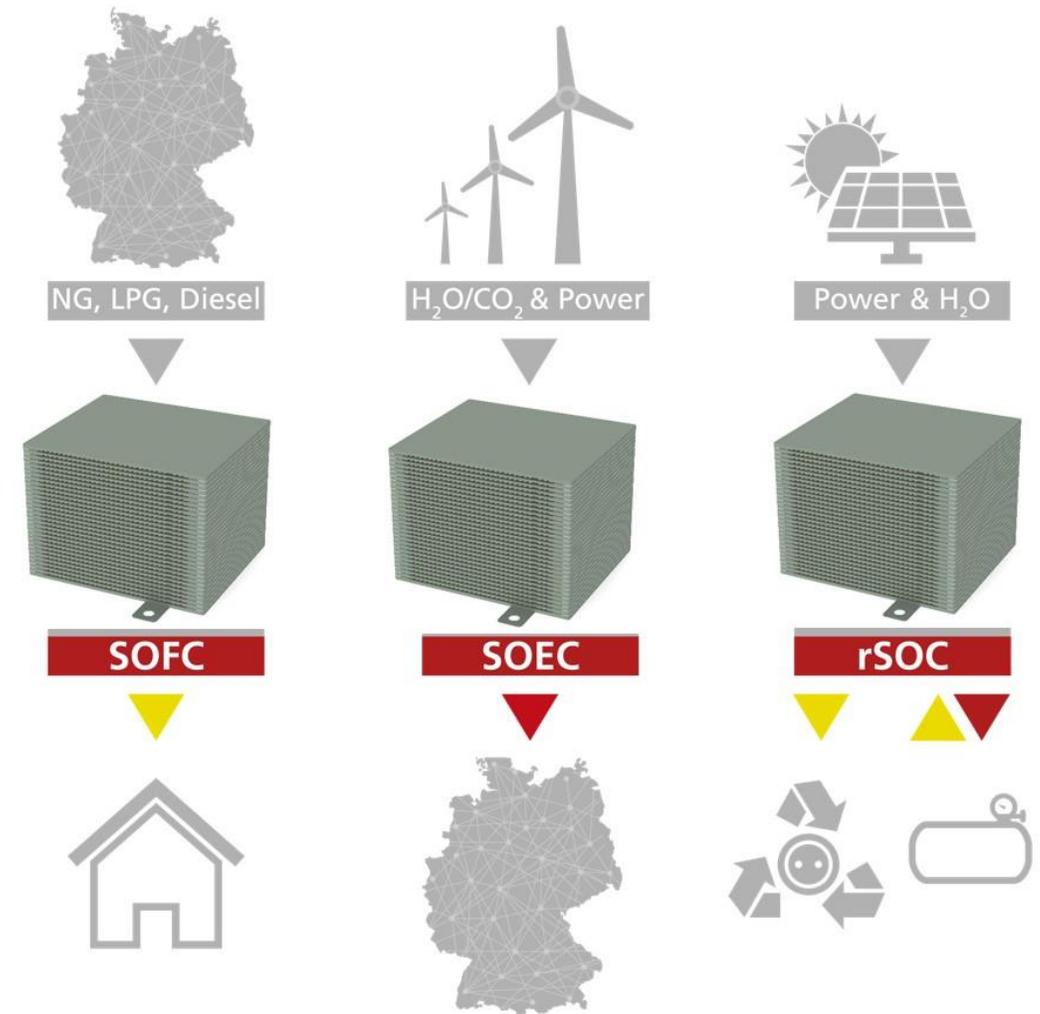
Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff



Reversible operation (rSOC)

Overview

- SOC technology can be operated in both directions with the same stack
- Reversible operation reduces capital expenditures
- Applicable for isolated grids



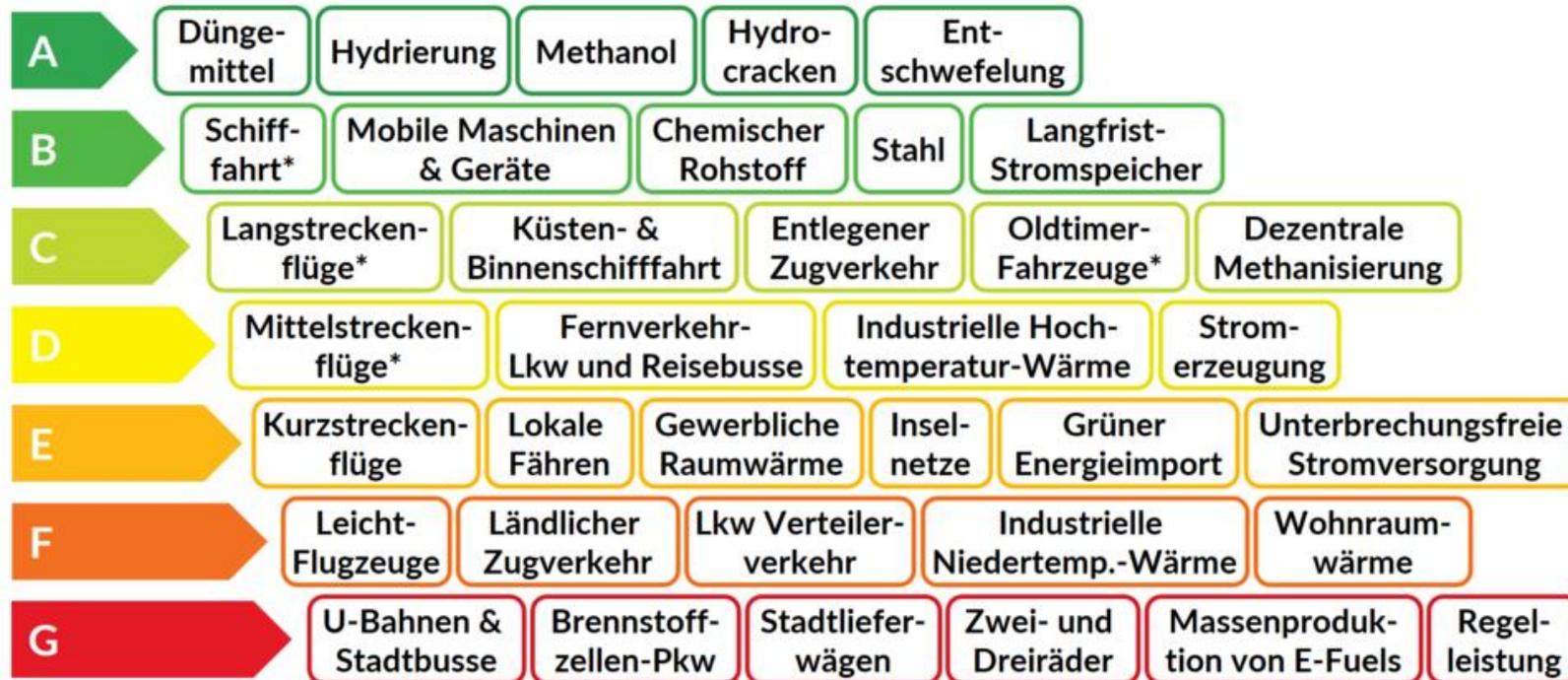
Wasserstoffnutzung

Überblick und Wirtschaftlichkeit

Einsatzbereiche sauberen Wasserstoffs

(Nach M. Liebreich, 2021)

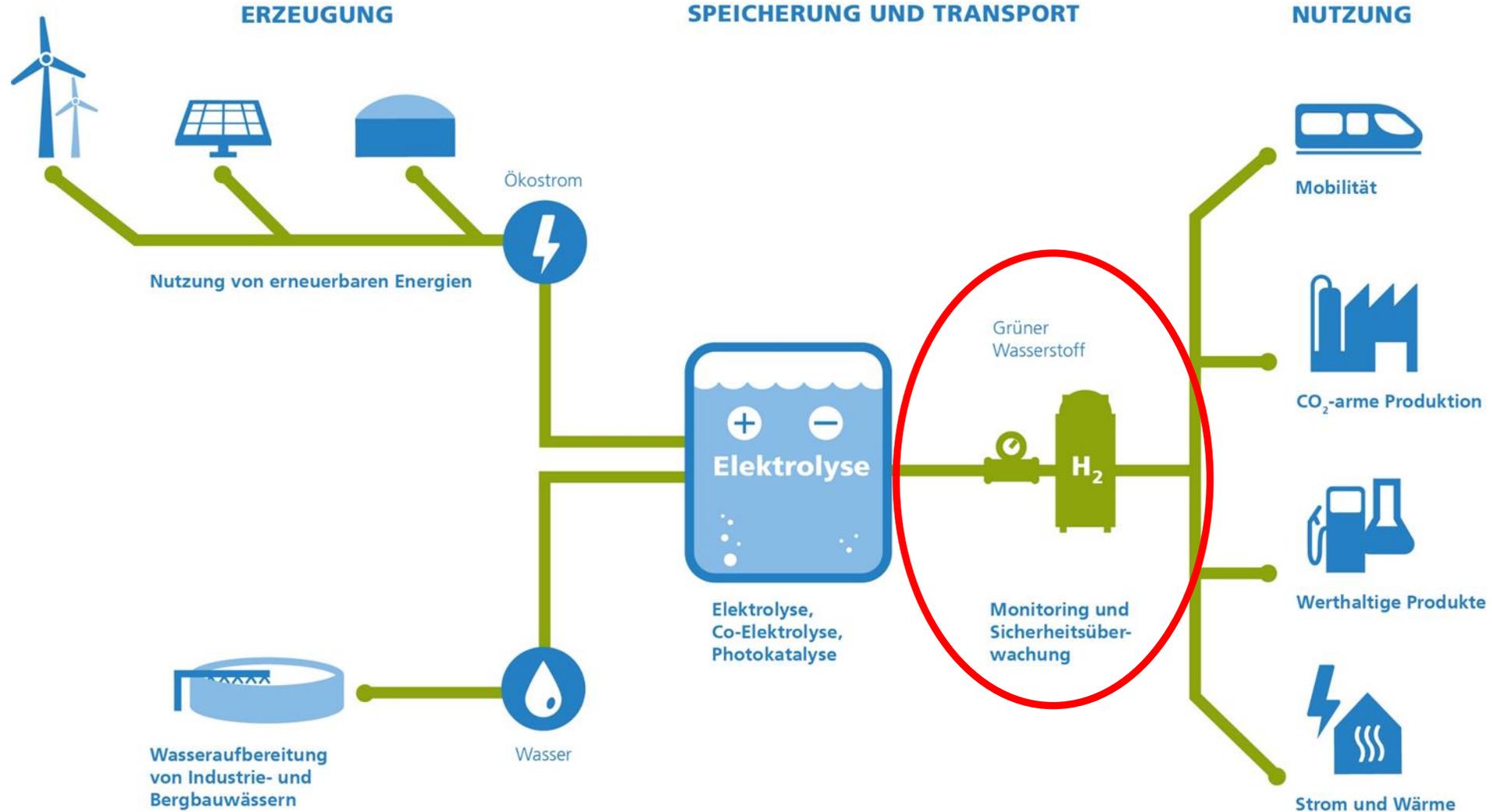
Alternativlos



* Sehr wahrscheinlich in Form von mittels Wasserstoff erzeugten E-Fuels oder Ammoniak.

© Gergo Hegedus, Wolf Peter Hoff & Martin Stroh based on Michael Liebreich (2019) Associates, Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021. Downloaded from Action Plan Energy Club, DE, BP 4/21

Wertschöpfungskette für grünen Wasserstoff



Stakeholder-Veranstaltungen im Projekt TransHyDE-Systemanalyse

Stakeholder-Dialog
am 18.04.2024
im Fraunhofer
in Berlin

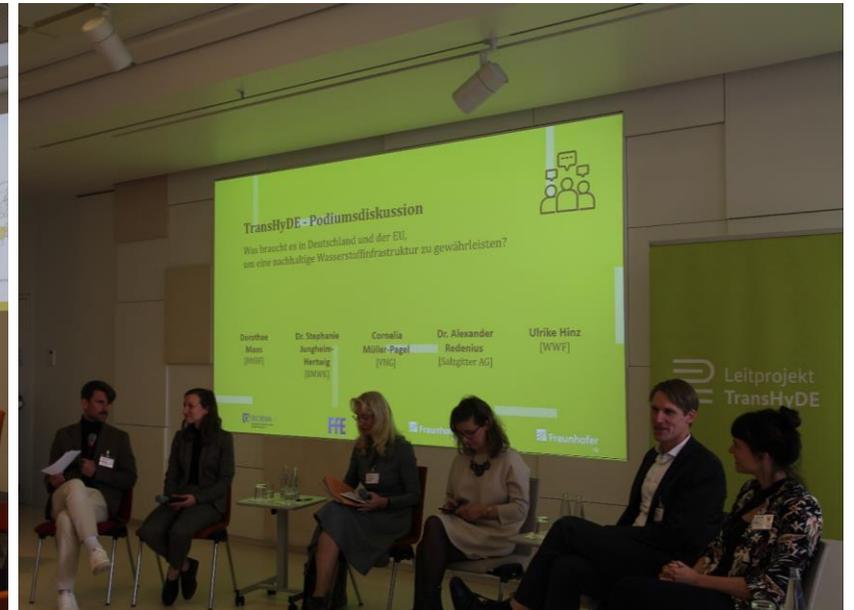
Teilnehmende aus
Politik, Wirtschaft,
Wissenschaft und
Gesellschaft

Ausblick/Einladung:

Webseite zur Roadmap ist in der Fertigstellung

TransHyDE Abschlusskonferenz: 25.03. – 27.03. 2025 in Berlin (Einladung und Zeitplan folgen)

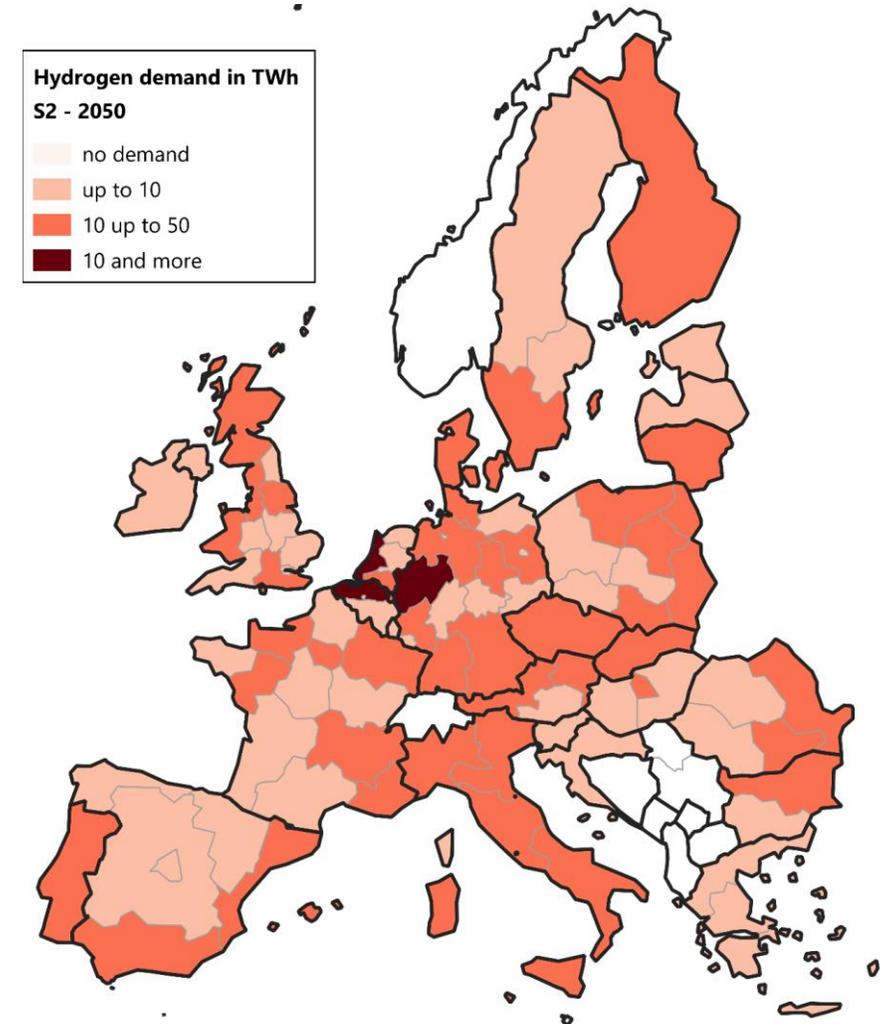
Vorstellung der Ergebnisse aus den Projekten und der Roadmap



Die räumliche Verteilung des Wasserstoffbedarfs der Industrie bestimmt den Rahmen für die Infrastruktur

- Das Chemie-/Stahl-Cluster in Nordwest-Europa ist ein Hotspot mit **drei Regionen mit einem H₂-Bedarf über 100 TWh**:
 - Nordrhein-Westfalen in Deutschland: 103 TWh
 - Westliche Niederlande: 139 TWh
 - Nordbelgien (Flandern): 103 TWh
- Die Nachfrage wird durch die **Umstellung auf H₂-basierte grüne Grundstoffe** angekurbelt:
 - Integrierte Stahlwerke -> Umwandlung von direktreduziertem Eisen
 - Steamcracker -> Umwandlung Methanol zu Olefinen
 - Ammoniak -> Umstellung auf grünen Wasserstoff

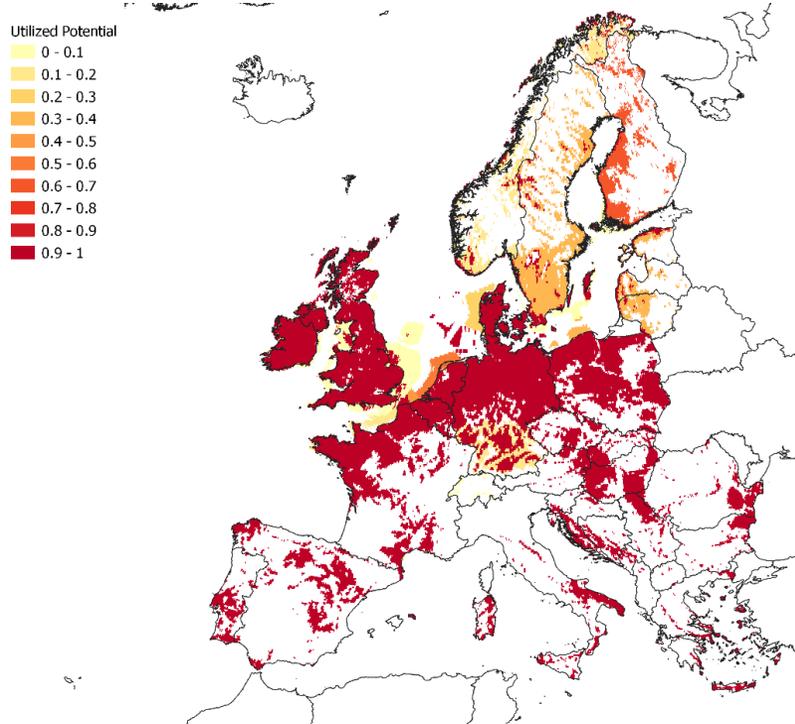
Wasserstoffbedarf im Jahr 2050,
Szenario Mittlere Nachfrage
(chemische Grundstoffe, Stahl, Hochtemperatur-
Prozesswärme)



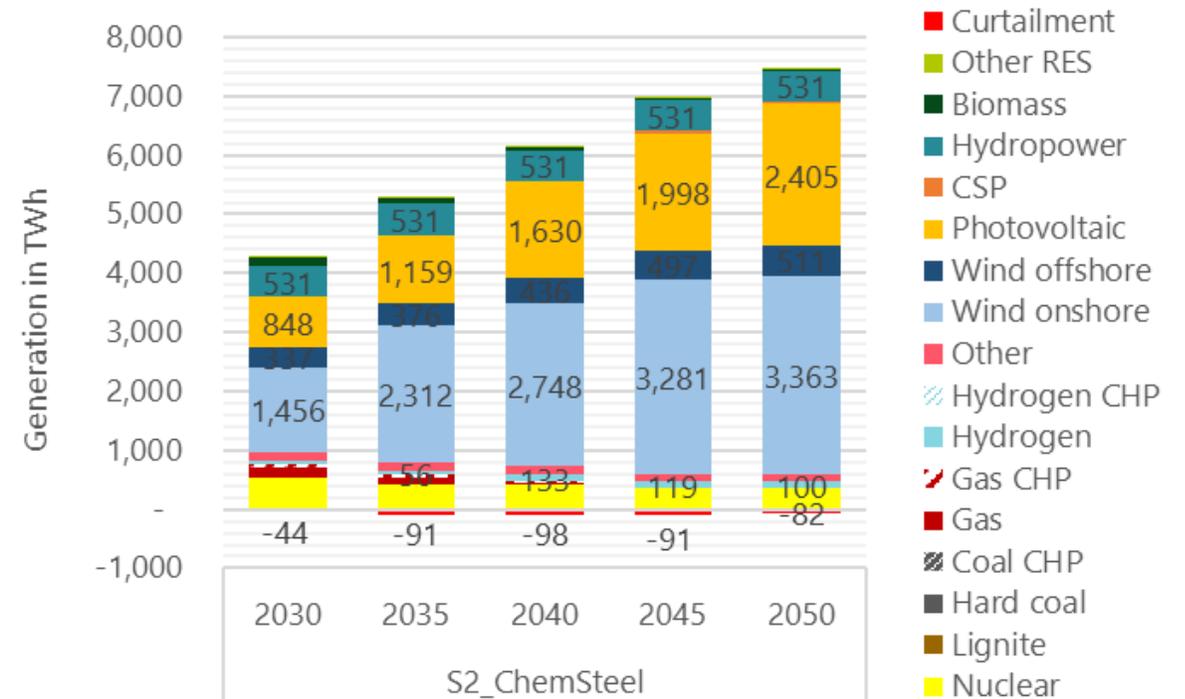
© Leitprojekt TransHyDE (Fraunhofer ISI)
© EuroGeographics for the administrative
boundaries

Ausbau von Wind und Photovoltaik in Europa ermöglicht CO₂-neutrales System

Potenzieller Einsatz von Wind an Land in
Europa 2045 (Mittlere Nachfrage)

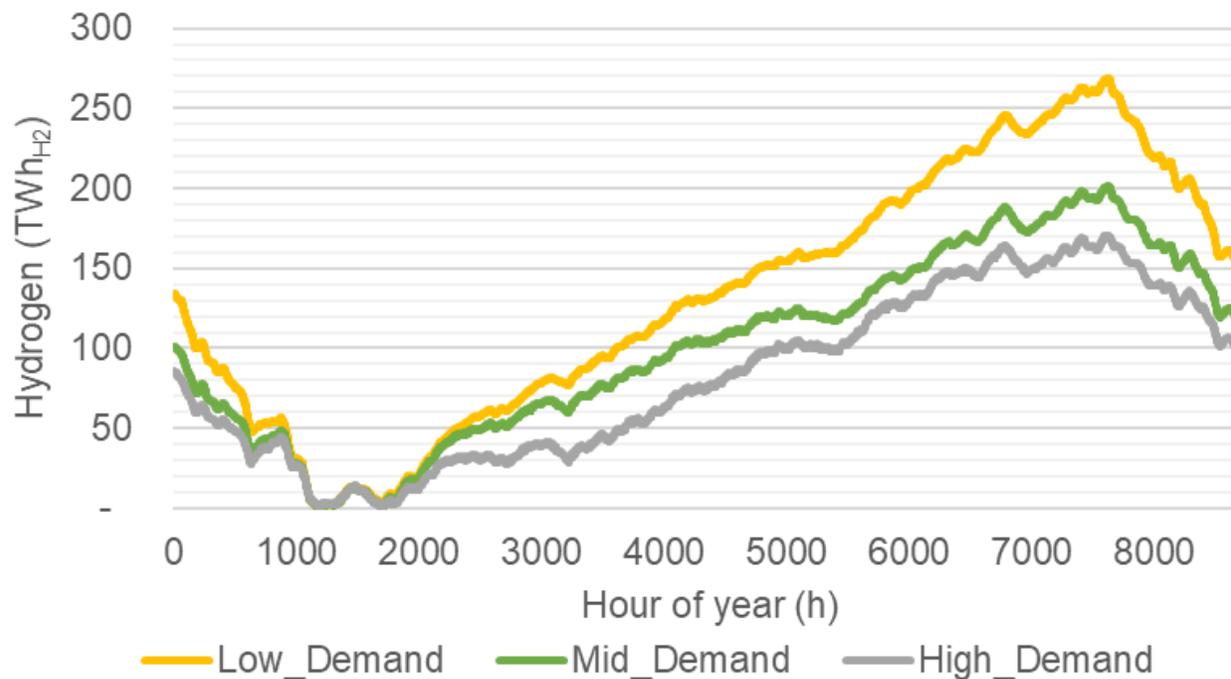


Stromerzeugung in Europa, 2050 (Mittlere Nachfrage)



Große H₂-Speicher ermöglichen einen saisonalen Ausgleich der Fluktuationen im Energiesystem

Füllstand der Wasserstoffspeicher in Europa, 2045



- Wasserstoff ist für die saisonale Speicherung nötig.
- Ein Speicherzyklus pro Jahr ermöglicht die Abdeckung von Residuallasten im Winter.
- ermöglicht die Integration von **Wind und Photovoltaik** über Elektrolyse.
- Potenzielle H₂-Kavernenspeicherkapazität basierend auf der Kapazität von Gaskavernen: ~200-250 TWh in der EU27+UK

Zusammenfassung und Ausblick

Entwicklungsstand der Verfahren zur Wasserstofferzeugung

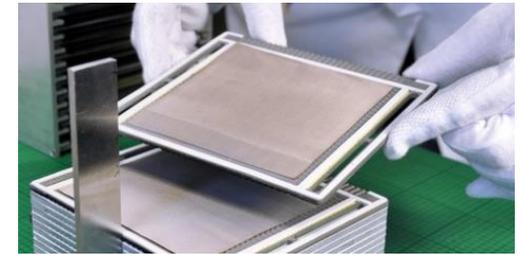
- Entwickelte und industriell erprobte Technologien zur Elektrolyse verfügbar
- Wesentliche Entwicklungsaufgaben: Reduzierung der Fertigungskosten (Massenfertigung) und Steigerung der Anlagenkapazität und der Lebensdauer

Technologien zur Wasserstoffnutzung

- Priorität beim Einsatz von Wasserstoff liegt bei industriellen Prozessen
- Verfahren zur Erzeugung von grünem Stahl erprobt und verfügbar
- Bei Wasserstoff-basierten Synthesen noch F+E- Bedarf bei der effizienten Aufbereitung der Produkte

Wasserstoffinfrastruktur

- Transport von Wasserstoff vor allem über Pipelines
- Importe per Schiff vor allem für Folgeprodukte (u.a. direkt reduziertes Eisen und Methanol für den Direkteinsatz in der Industrie)
- Für die ganzjährige Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien sind ein europäisches Wasserstoffnetz und ein Ausbau der Speicherkapazitäten essentiell



Kontakt



PD Dr.-Ing. habil. Matthias Jahn
Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme (IKTS)
Abteilungsleiter Energie und Verfahrenstechnik
Geschäftsfeldleiter Umwelt- und Verfahrenstechnik
Winterbergstrasse 28 | 01277 Dresden | Germany
+49 351 2553-7535 | matthias.jahn@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de
TU Dresden
FG Chemische Verfahrenstechnik

