



# Wasserstoff – Energiespeicher der Zukunft

DI Dr. Bianca Grabner

Klagenfurt, 05.10.2022

- Vorstellung der TU Graz und des HyCentA
- Einführung ins Thema Wasserstoff
- Aktuelle Projekt und Erfolge



# TU Graz auf europäischem Spitzenniveau



~1970 Prof. Kordesch

- **TU Graz ist Keimzelle und Zentrum** der technologischen F&E in **Österreich**
- Forschung an Elektrochemie und Wasserstoff **seit den 70er Jahren**
- **Einzigartige** Labor- und **Forschungsinfrastruktur** – ca. 50 M€ Bestand
- Mannigfaltige Expertise der **160 WissenschaftlerInnen** – unter Top 5 in EU
- Von Grundlagen bis hin zu angewandten Technologien und systemischen Aspekten – **TU Graz ist „One-Stop-Shop“ der H<sub>2</sub>-Technologieforschung**

# Kernteam der Elektrochemie und H2 Forschung



**Österreichs einziges F&E Zentrum für Wasserstofftechnologien**  
 Anwendungsorientierte F&E für Industrie, Energie und Mobilität  
 Elektrolyse, Speicher, Verteilung und Brennstoffzelle



**Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik**  
 Brennstoffzellen und Wasserstoff  
 Elektrochemielabor  
 Industriesystemlösungen



**COMET Zentrum für F&E der Bioenergie**, der nachhaltigen biobasierten Ökonomie und der zukunftsfähigen Energiesysteme.  
 H2 aus Biomasse und Verwertung zu hochwertigen Produkten für die Industrie



**Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebe**  
 Nachhaltige Antriebe und Mobilitätslösungen  
 Emissionen und Immissionen  
 Thermodynamik und Elektrochemie



**COMET Zentrum für Großmotorenforschung**  
 nachhaltige Energie- und Transportsysteme  
 Maritime Antriebslösungen



**Institut für Wärmetechnik**  
 Forschung an Hochtemperatur-Elektrolyse und Brennstoffzellen, Wasserstoffbrenner für die Industrie, nachhaltige Wärmetechniklösungen



## Österreichs Forschungszentrum für Wasserstofftechnologien



Außeruniversitäre Forschungsgesellschaft  
an der Technischen Universität Graz (TUG)



- **60 Forschende aus Maschinenbau, Physik, Chemie, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik**
- **Mehr als 70 Projekte erfolgreich abgeschlossen**
- **Mehr als 17 Jahre an Expertise**
- **Modernste Versuchs- & Betankungsinfrastruktur**
- **Lehre an der TU Graz**
- **Internationales Netzwerk**



**Geschäftsführung und  
wissenschaftliche Leitung**  
Alexander Trattner

**Stv. Geschäftsführung und  
kaufmännische Leitung**  
Martin Trummer

**Controlling und  
Rechnungswesen**  
Claudia Langbauer

**Unternehmensentwicklung  
und Recht**  
Wolfgang Jauk

**Personal und Lehre**  
Nadine Khodai

**Assistenz und Administration**  
Konstanze Ferner

**Elektrochemische Technologien**  
Leitung: Marie Macherhammer



Forschung an Elektrolysetechnologien, von der Zelle über Stack bis zum System, sowie an elektrochemischer Kompression und Brennstoff-Einzelzellen

**Infrastruktur-Technologien**  
Leitung: Markus Sartory



Forschung an Technologien der Erzeugung, Aufreinigung, Verdichtung, Speicherung, Verteilung und Abgabe zur optimierten Konfiguration von Wasserstoffinfrastrukturen und deren systemischen Integration in der Industrie und Energiewirtschaft

**Mess- und Testsysteme**  
Leitung: Stefan Brandstätter



Forschung an Mess- und Testsystemen im Bereich Wasserstofftechnologien mit Spezialisierungen auf Materialuntersuchungen, Gasanalyse, Elektrolyse, Speichersysteme und Brennstoffzellen

**Mobilitäts-Technologien**  
Leitung: Patrick Perl



Forschung an Brennstoffzellen-Antriebslösungen für Land, Wasser, und Luft sowie an Brennstoffzellenstacks und -systemen für die mobile und stationäre Anwendung inklusive on-board Wasserstoff-Speichersystemen

Forschen und Entwickeln

Modellieren und Simulieren

Messen und Prüfen

Lehren

- **Elektrolyse und H<sub>2</sub>-Infrastrukturen**
  - Planung, Design und Zertifizierung: Zelle, Stack, System und Gesamtanlagen
  - Konzeptionierung, Aufbau & Tests von GH<sub>2</sub> Kompressor-Systemen
- **Speicherung und Verteilung von Wasserstoff**
  - Konzeptionierung und Zertifizierungsprüfung von GH<sub>2</sub> Speichersystemen
  - Alternative Konzepte: Hydrid-Speichersysteme und LH<sub>2</sub> Systeme
- **Brennstoffzellen – Mobile und Stationäre Anwendungen**
  - Design & Zertifizierung: Stacks, BoP, Systeme & Kontrollstrategien
  - Entwicklung und Tests von BZ-Antriebskonzepten
- **Messtechnik und Testsysteme**
  - Mengmessungen und Gasqualitätsmessungen
  - Kundenspezifische Prüfstandsauftbauten



H<sub>2</sub>-Betankung  
350 & 700 bar



Hochdruckprüfstand  
bis zu 1000 bar  
mit Klimakammer



Zwei Testzellen für  
Komponenten &  
Systeme



Brennstoffzellen-  
systemprüfstand 160 kW  
mit Klimakammer



Elektrolyseteststand



GasanalySELabor

## Lehrveranstaltungen an der TU Graz

- Höhere Thermodynamik
- Hydrogen in Energy & Vehicle Technology
- Innovative Propulsion Systems
- E-Mobility
- Energy Storage Systems

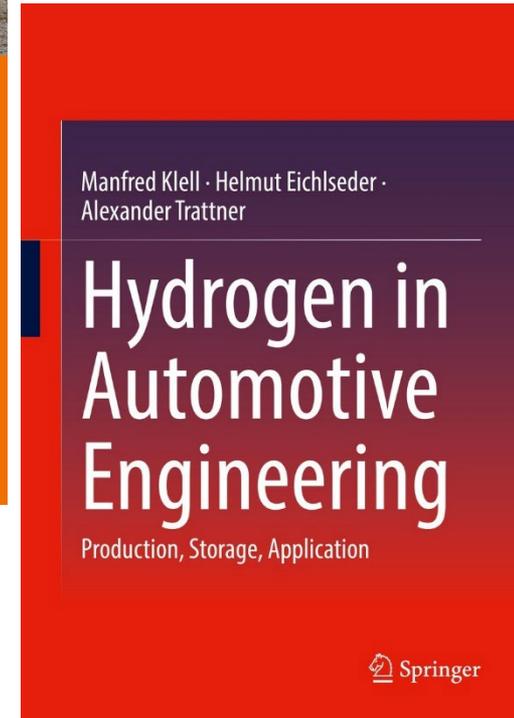
## Betreuung von Abschlussarbeiten

- Bachelor
- Master
- PhD

## Buchveröffentlichung 2018:

- Eichlseder/Klell/Trattner: „Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik: Erzeugung, Speicherung, Anwendung“, Eichlseder/Klell/Trattner, 4. Auflage

## Konferenzen, Networking /& Consulting



- Weltweit werden aktuell circa **120 Mio. t pro Jahr** erzeugt
  - 8 EJ → rund **2 % des globalen Gesamtenergieverbrauchs**
- Marktvolumen von rund **136 Mrd. USD**
- Circa **40 %** stammen aus Industrieprozessen als **Nebenprodukt**
- Restlichen **60 %** werden **eigens erzeugt**:  
**95 %** aus Kohlenwasserstoffen und zu **5 %** aus Strom

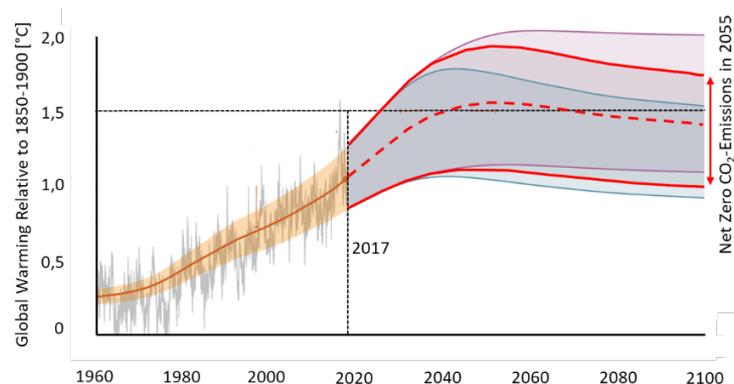
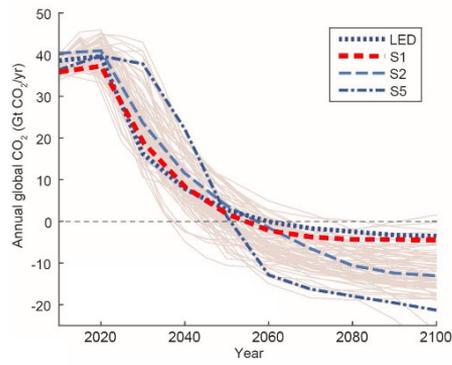
## ANTEIL DER PRIMÄREN ENERGIETRÄGER AN DER GLOBALEN WASSERSTOFF-PRODUKTION



Quelle: Shell Studie

E4tech 2014; eigene Darstellung

## Primäre Aufgabe ist die Reduktion von Treibhausgasen!



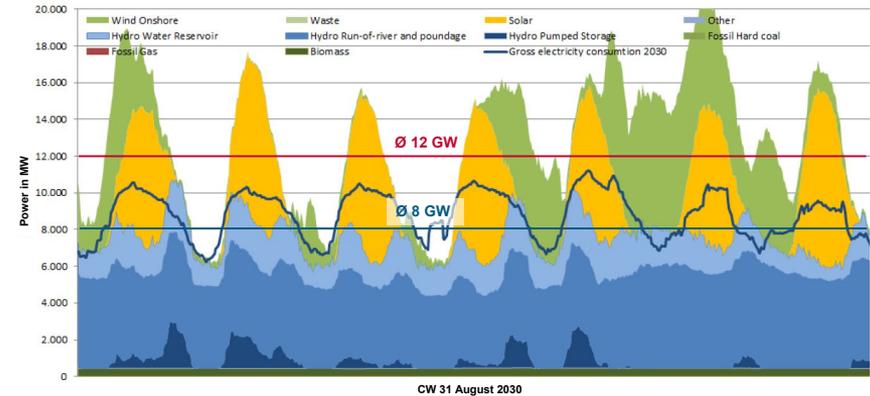
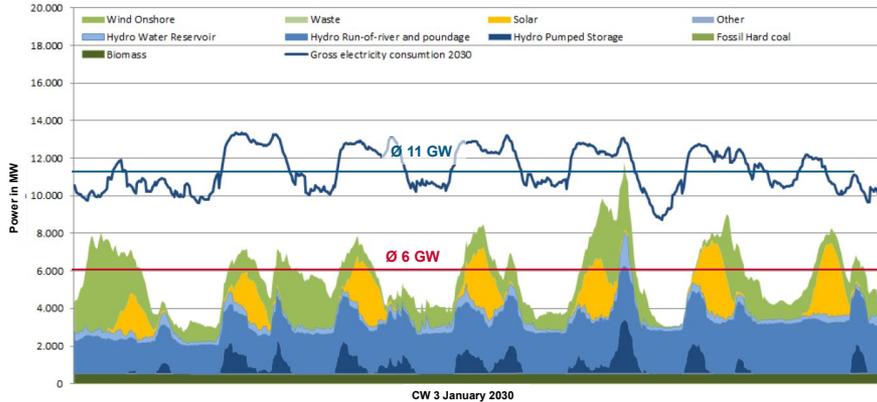
Quelle: IPCC

## 3 Strategien zur Bewältigung der Energiewende

- **Ausbau erneuerbarer Energien (und Energiespeicher)**
- **Effizientere Energiewandler**
- **Verbrauch verringern - Suffizienz**

- **2030 Klimaziel AUT: 100 % bilanziell erneuerbarer Strom (~80 TWh)**
  - Im Sommer 4 GW zu viel in AUT
  - Im Winter 5 GW zu wenig in AUT

Enorme Speicher erforderlich



Renewable electricity production in winter leads to a significant gap between supply and demand (left); in summer renewable production exceeds by far the average electricity demand [AEA2018]

Online Messwerte  
Erzeugung & Verbrauch im Burgenland

Strom Erdgas

24 Stunden 30 Tage Stromverbrauch Burgenland

Megawatt

Megawatt

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

500 MW

RAG Gasspeicher Puchkirchen

10.04

12.04

14.04

16.04

18.04

20.04

22.04

24.04

26.04

28.04

30.04

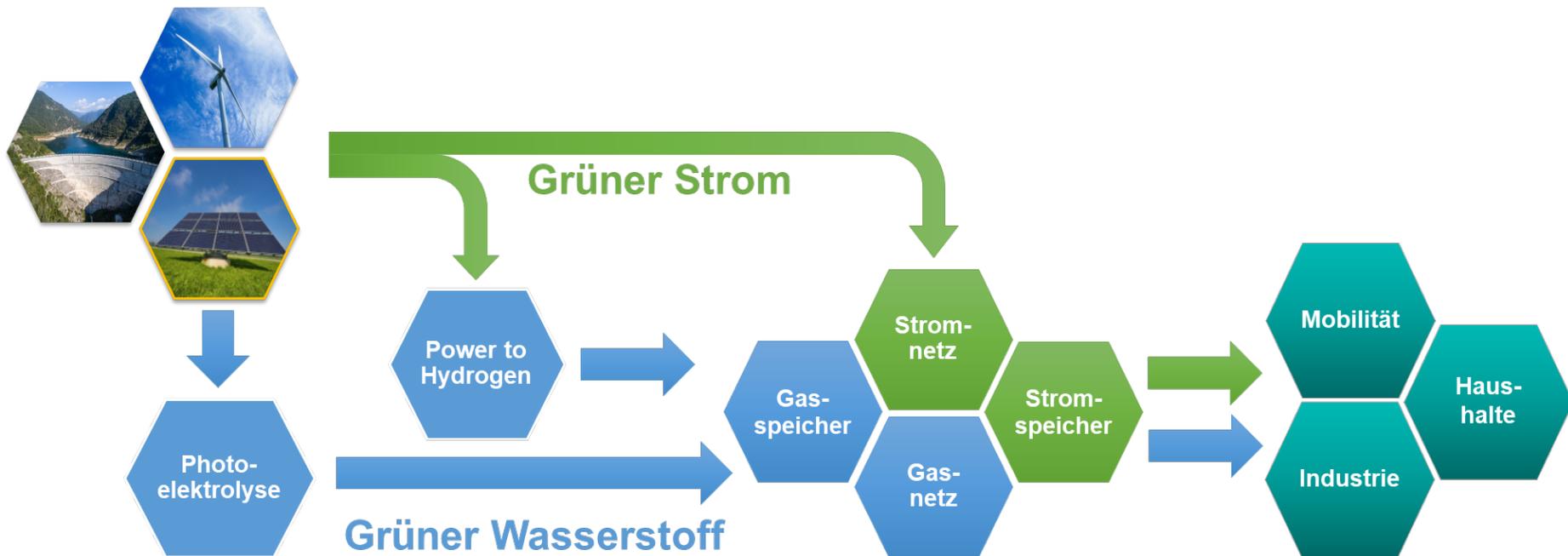
02.05

04.05

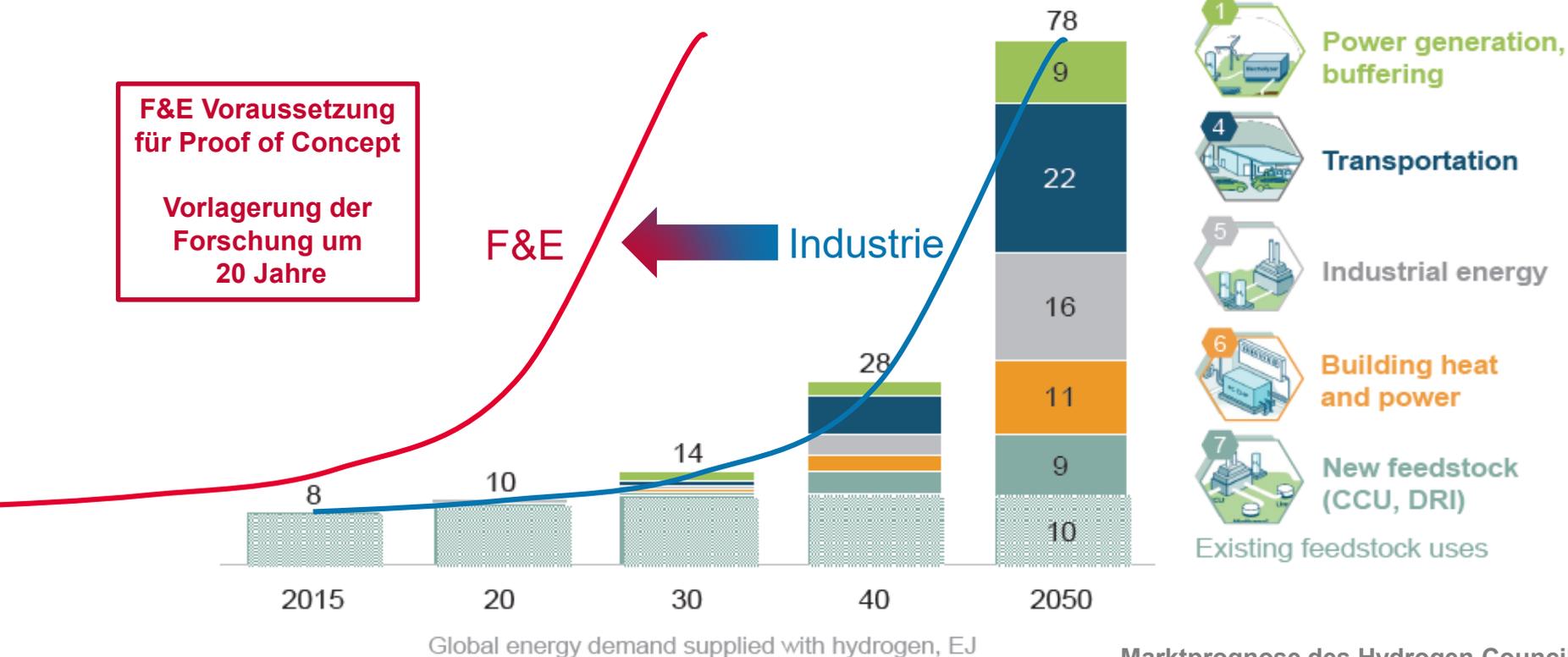
06.

Quelle: RAG, Bauer, Mitteregger

See more: Trattner A et al., Sustainable hydrogen society - Vision, findings and development of a hydrogen economy using the example of Austria, International Journal of Hydrogen Energy, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.166>

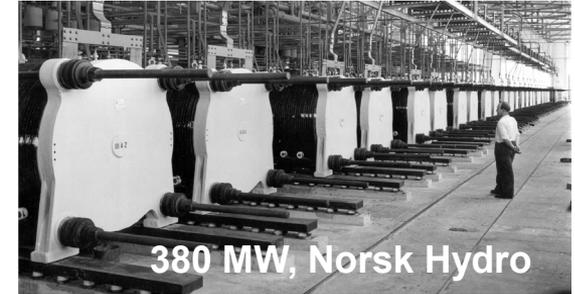


"H<sub>2</sub> weist ein langfristiges Potenzial von 20-30 % aller Energieträger auf"



Marktprognose des Hydrogen Council  
<https://hydrogencouncil.com/en/>

- **Elektrolyse ist die Schlüsseltechnologie**
  - AEL und PEM sind bereits am Markt
  - AEM als günstige Alternative
  - SOEL vielversprechende effiziente Zukunftstechnologie
  - EU Plan: Installation von 6 GW bis 2024
- **Pyrolyse von Biomethan**
- **Vergasung von Biomethan**
- **Alternative Technologien**
  - Photolyse - Photoelektrolyse



wind2hydrogen

## PEM-EL

Proton Exchange Membrane Electrolysis

## AEM-EL

Anion Exchange Membrane Electrolysis

## AEL-EL

Alkaline Electrolysis

## SO-EL

Solid Oxide Electrolysis

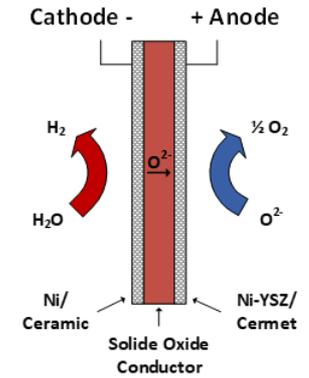
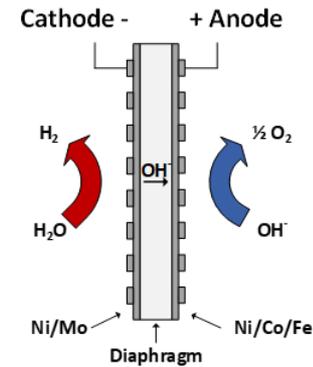
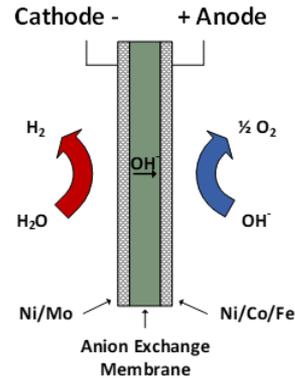
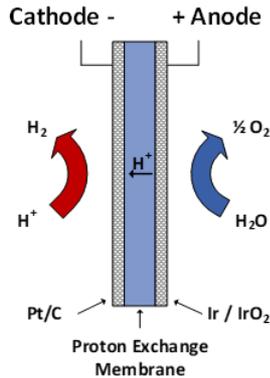
Electrolyte

Acidic

Solid (Polymer)

Alkaline liquid

O<sup>2-</sup>-conducting Solid (ceramic)



Working Temperature

50 – 80 °C

40 – 80 °C

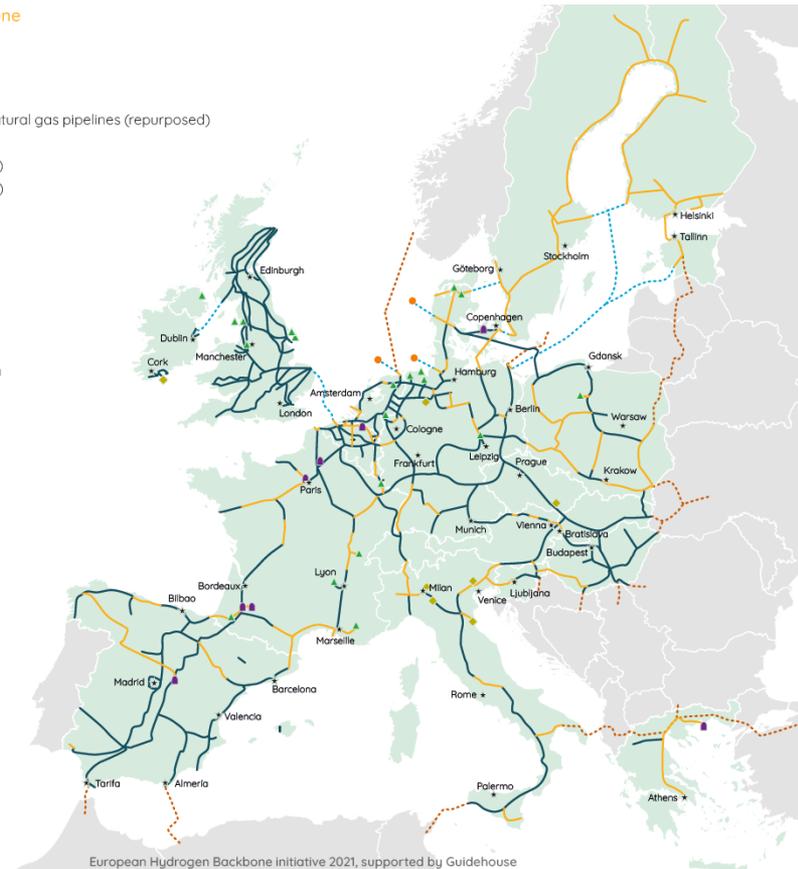
60 – 95 °C

700 – 1000 °C

- **Druckgasspeicherung** ist Stand der Technik und seit Jahrzehnten eingesetzt
- **LH<sub>2</sub>** (Flüssigwasserstoff ~ -253°C) für Sonderanwendungen
- **Saisonale großtechnische Speicher** wie in **Untergrundspeichern**
- **Alternativen wie LOHC und Hydridspeicher** nehmen an Bedeutung zu → F&E
- **Distribution**
  - GH<sub>2</sub> und LH<sub>2</sub> Trailer
  - Pipelines
  - Schiffe

Mature European Hydrogen Backbone can be created by 2040

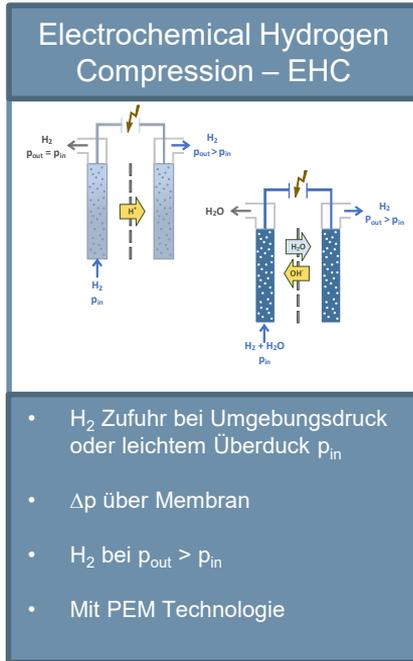
- H<sub>2</sub> pipelines by conversion of existing natural gas pipelines (repurposed)
  - Newly constructed H<sub>2</sub> pipelines
  - Export/Import H<sub>2</sub> pipelines (repurposed)
  - Subsea H<sub>2</sub> pipelines (repurposed or new)
- Countries within scope of study
  - Countries beyond scope of study
- ▲ Potential H<sub>2</sub> storage: Salt cavern
  - Potential H<sub>2</sub> storage: Aquifer
  - ◆ Potential H<sub>2</sub> storage: Depleted field
  - Energy island for offshore H<sub>2</sub> production
  - ★ City, for orientation purposes



European Hydrogen Backbone initiative 2021, supported by Guidehouse

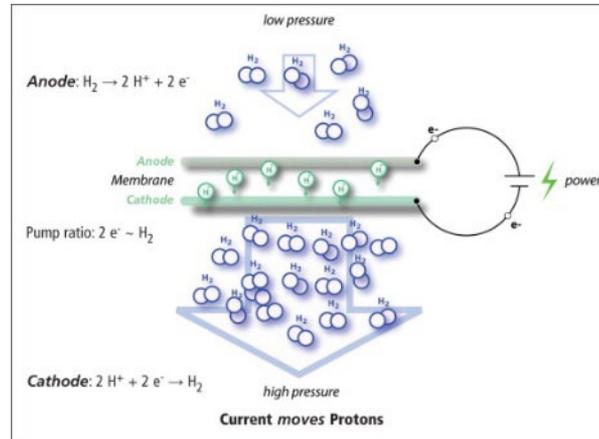
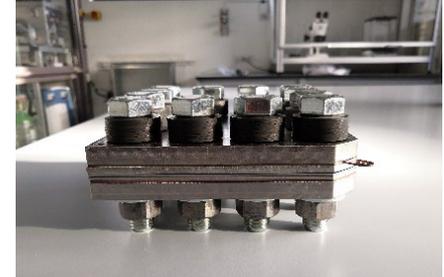
Quelle: [https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/extending-the-european-hydrogen-backbone/)

Kompakte, modulare und effiziente Verdichtung mit hohen Wirkungsgraden und **ohne bewegliche Teile (Lärm) & Reinigung**

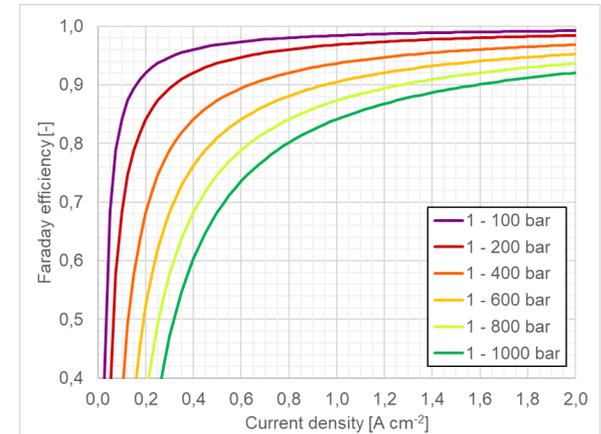


Forschung:

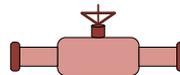
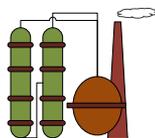
- Befeuchtung
- Optimierung von Zellaufbau und Stapelung
- Dichtungskonzepte
- Integration in H<sub>2</sub> Systeme



Source: HyET



Source: HyCentA, on-going PhD Michael Richter



## Mobilität

## Industrie

## Gasnetze

## Energieversorgung

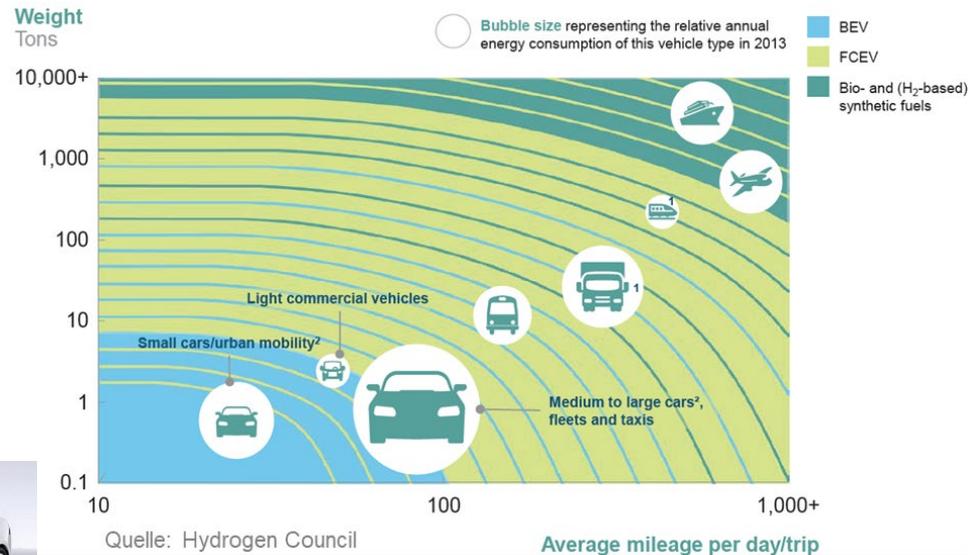
## Gebäude

<b>Ziel</b>	Dekarbonisierung des privaten und öffentlichen Verkehrs	Dekarbonisierung industrieller Prozesse	„Greening the gas“	Erneuerbare Energieversorgung	Dekarbonisierung von Wärme und Stromversorgung
<b>Beispiel</b>	LKW, Schiffe Öffentliche Verkehrsmittel (Busse, Bahnen) PKW, Intra-Logistik	Stahl, Glas Halbleiter, Brenner/Trockner Synthese (Fischer-Tropsch, NH <sub>3</sub> )	H <sub>2</sub> -Pipeline, H <sub>2</sub> -Blending (aktuell bis 10 %)	Rückverstromung Saisonale Energiespeicherung Sektorkopplung Netzstabilisierung	Haushalte und Industrie/ öffentliche Gebäude
<b>Speicherdruck</b>	200 bar (Intra-Logistik) 350 bar (Bus, Bahn, LKW) 700 bar (PKW)	1 - 300 bar	50-100 bar	Je nach Speichertechnologie	200-300 bar

- **keine Emission** von **Lärm, Schadstoffen** oder **Treibhausgasen**
- vielfacher **Wirkungsgrad** und damit hohes **Energieeinsparungspotenzial**

## BEV (Energiewandler UND Energiespeicher):

- **Höchste Wirkungsgrade** im Fahrzeug (bis 80 %)
- **Lange Ladedauer** (maximal mit 250 kW)
- **Geringe Reichweite** (typisch 200-500 km)
- **Kälteempfindlich**



## FCEV (BZ Energiewandler, H<sub>2</sub>-Tank als Energiespeicher):

- **Hohe Wirkungsgrade** im Fahrzeug (bis 60 %)
- **Kurze Betankung** PKW 3-5 min, Bus 15-20 min
- **Hohe Reichweite** (typisch 600 km)
- **Kälteunempfindlich**
- **H<sub>2</sub> gut speicherbar**



# Heavy Duty 40 t Truck - 1000 km Reichweite

Antriebs/Speicher



## H<sub>2</sub> Brennstoffzelle



## Batterie > 2x mehr Verkehr



## Betankung / Ladedauer

	Leistung in MW	Dauer in h
H2 - TK 16 HF	15	0,2
BEV - 500 kW	0,5	4,2
BEV - 1 MW	1	2,1

## H<sub>2</sub> Brennstoffzelle

TtW Energie

60 % Effizienz



3 kWh/km

## Batterie > 2x mehr Verkehr

85 % Effizienz

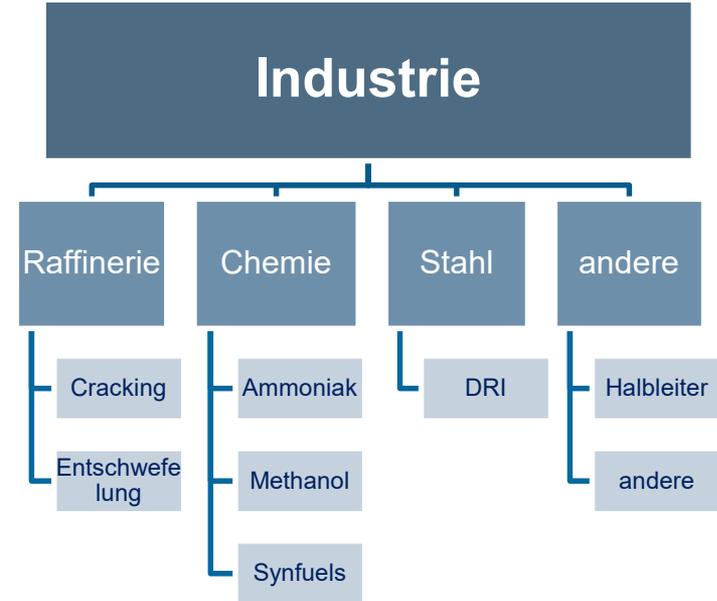


85 % Effizienz



2 x 2,1 =  
4,2 kWh/km

- $H_2$  seit Jahrzehnten Rohstoff für die Industrie
- Umstellung von der Verwendung von grauem  $H_2$  zu grünem  $H_2$
- Innovative Prozesse mit grünem  $H_2$  zur Dekarbonisierung (Stahl)
- Hochtemperaturprozesse:  
Heizung und Brenner



Chemie



Glás



Halbleiter

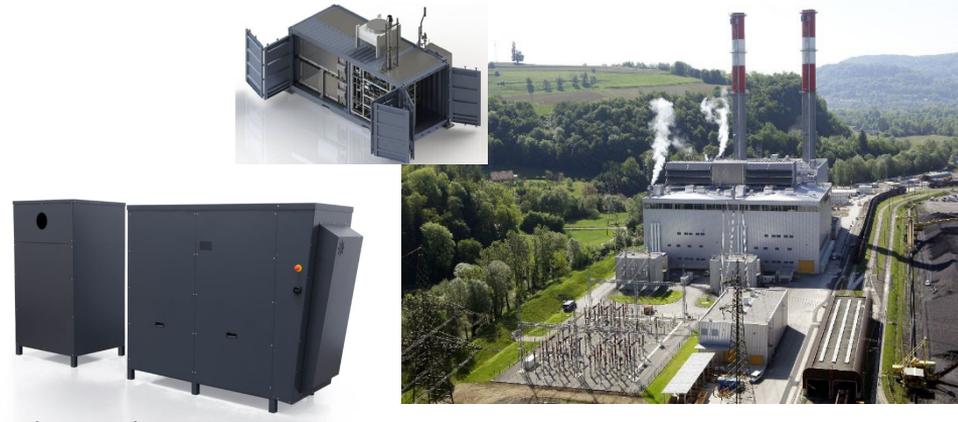


Raffinerie



Metalle

- H<sub>2</sub>-Technologien besonders relevant für **Sektorkopplung**
- **Regelenergiemarkt** mit Elektrolyse und Brennstoffzelle (reversibler Betrieb bei HT)
- Kraft-Wärme-Kopplung
- **Eigenversorgung** z.B. Häuser, Hotels, öffentliche Gebäude
- **Notstromversorgung**
- **Verstromung** mit: VKM / Turbine / Brennstoffzelle



Quelle: Verbund, Gaskraftwerk Mellach, HotFlex

Electrolysis (SOEC mode)



Fuel Cell (SOFC mode)



Quelle: Sunfire

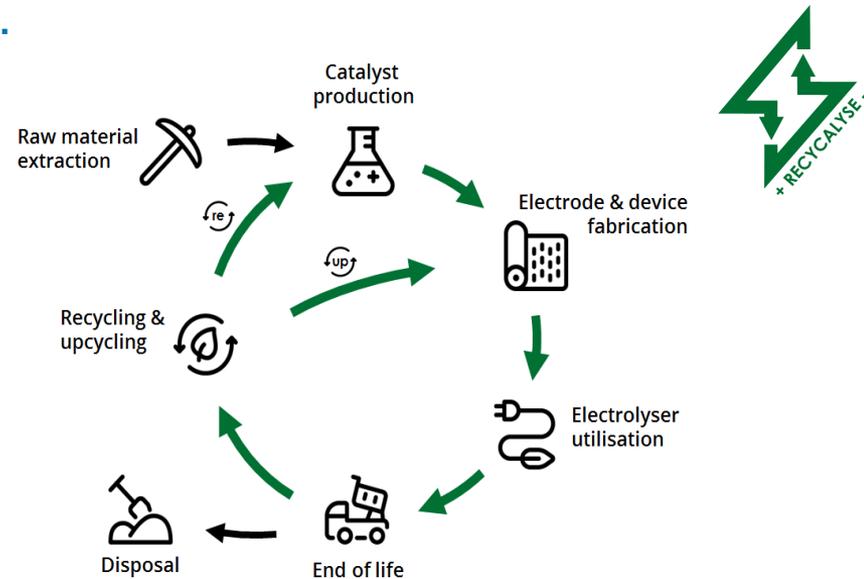
## Umwandlung von erneuerbarem Strom in Wasserstoff zur Speicherung und zum Transport im Erdgasnetz

- Neuentwicklung eines **PEM-Hochdruck-Elektrolyseurs**
- Bau einer **100-kW-Pilotanlage**
- Operative Erfahrung einer **Power-to-Gas-Anlage** mit realen Lastfällen erneuerbarer Energie und die **Einspeisung von H<sub>2</sub> in das Erdgasnetz**
- Erzeugung von nachhaltigem Wasserstoff für **H<sub>2</sub>-Mobilität**

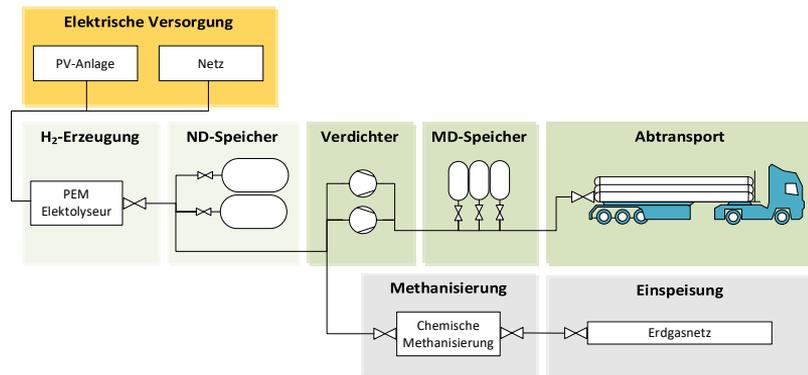


**RECYCALYSE** hat zum Ziel, neue **Elektrokatalysatoren** für PEM Elektrolysesysteme mit erhöhter **Performance**, reduziertem Verbrauch an kritischen **Rohstoffen**, reduziertem **ökologischem Fußabdruck** und zu reduzierten **Kosten** zu entwickeln.

- Hochskalierung des **Recyclingprozesses** für kritische Rohstoffe
- Einsatz von **nachhaltigen Materialien**
- Anwendung einer **Kreislaufwirtschaft**, in der kritische Rohstoffe zurückgewonnen und regeneriert werden
- Betrachtung der **gesamten Wertschöpfungskette** von der Produktion des Katalysators bis hin zur Systemintegration und Demonstration des Systems

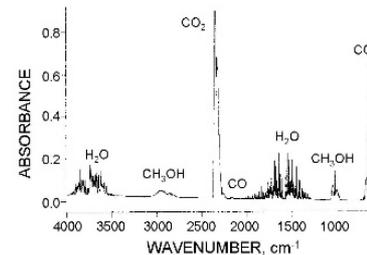


- Produktion von **grünem Wasserstoff** aus **erneuerbaren Energieträgern**
- Abfüllung von H<sub>2</sub> in Trailer
- **Demonstration** des lastflexiblen Methanisierungsprozesses
- Erzeugung von **grünem Biomethan** und Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz



## Entwicklung von Systemlösungen für die Verifizierung der **Gasqualität und Wasserstoff-Abgabemenge** an Wasserstoff Tankstellen

- Entwicklung moderner Analysemethoden zur Ermittlung der geforderten H<sub>2</sub> Qualitätsparameter
- Entwicklung einer mobilen Massenmessung des Wasserstoffs zur Eichung von H<sub>2</sub>-Tankstellen
- Steigerung des Ausbaus des H<sub>2</sub>-Tankstellennetzes mit erneuerbar produziertem Wasserstoff
- Szenarien und Konzepte für Ausbaukonzepte grüner H<sub>2</sub>-Produktion sowie zugehöriger H<sub>2</sub>-Logistik



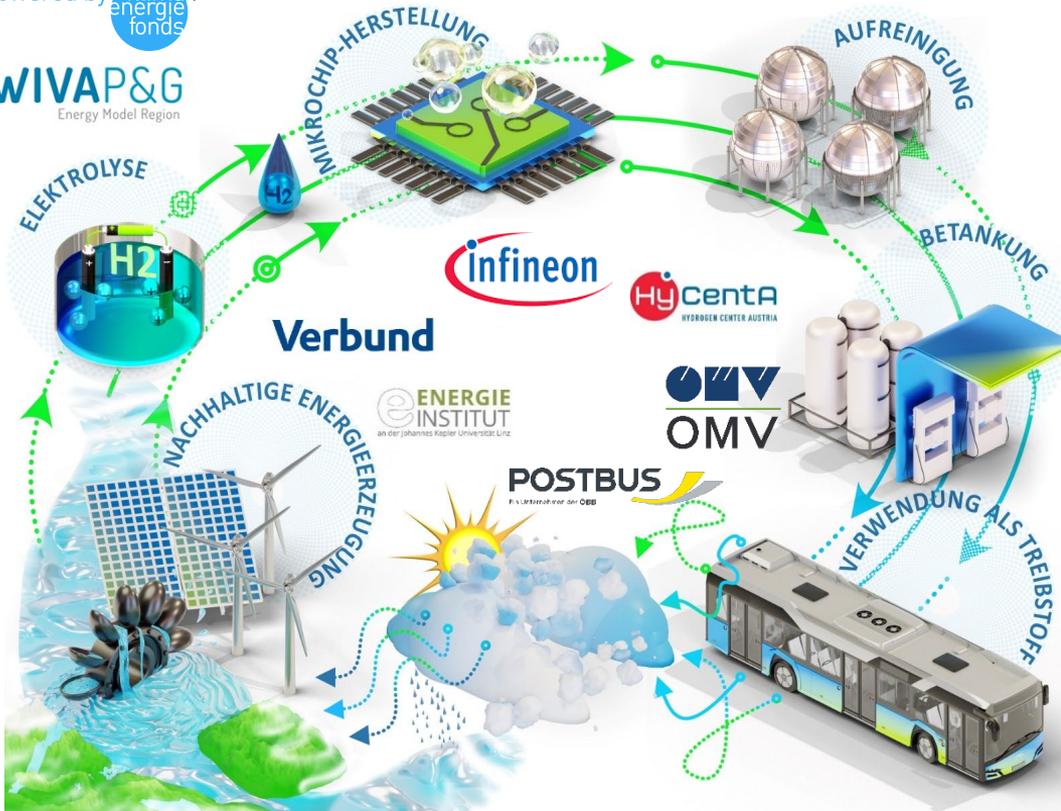
**Verbund**



LAND  KÄRNTEN

powered by 

**WIVAP&G**  
Energy Model Region



- **Produktion** von grünem H<sub>2</sub> **vor Ort**, bisher Anlieferung von grauem H<sub>2</sub>
- **Aufreinigung** auf **Reinheit 8.0** (99,99999 %) für **Chipherstellung** und Verwendung im Industrieprozess
- **Wiederaufreinigung** auf **5.0** für Anwendung in der Mobilität
- **Versorgung** der **Busflotte** in Villach

See more: Richter, M., et al.: "Evaluierung von Wiederverwertungsmethoden für Wasserstoff in Halbleiterindustrieprozessen", 16th Symposium Energieinnovation, Graz/Austria, 2020.

## Decarbonisation of Winter Tourism by Hydrogen Powered Fuel Cell Snowmobiles

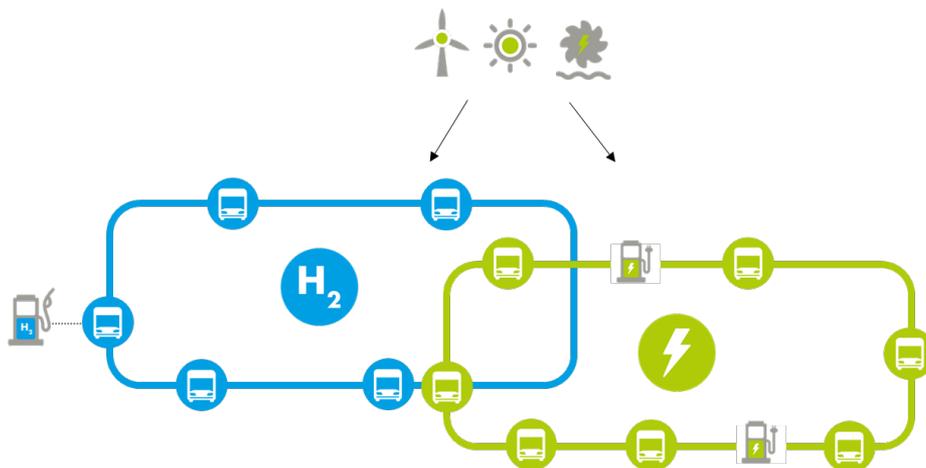
- Errichtung der ersten **Wasserstofftankstelle** in alpiner Umgebung (höchstgelegene H<sub>2</sub>-Tankstelle Europas)
- Direkte Kopplung von **Photovoltaik- und Elektrolyseanlage**
- Entwicklung eines **Brennstoffzellenantriebs für Schneemobile**
- Betrieb und Evaluierung unter **realen Betriebsbedingungen**



Entwicklung, Kalibrierung und Validierung eines HD Brennstoffzellensystems um die Effizienz, Performance und die Lebensdauer für Nutzfahrzeuge zu erhöhen.

- **Modulare Bauweise**
- **100-300 kW**
- **> 1,000 km Reichweite**
- **> 20,000 h Lebensdauer**





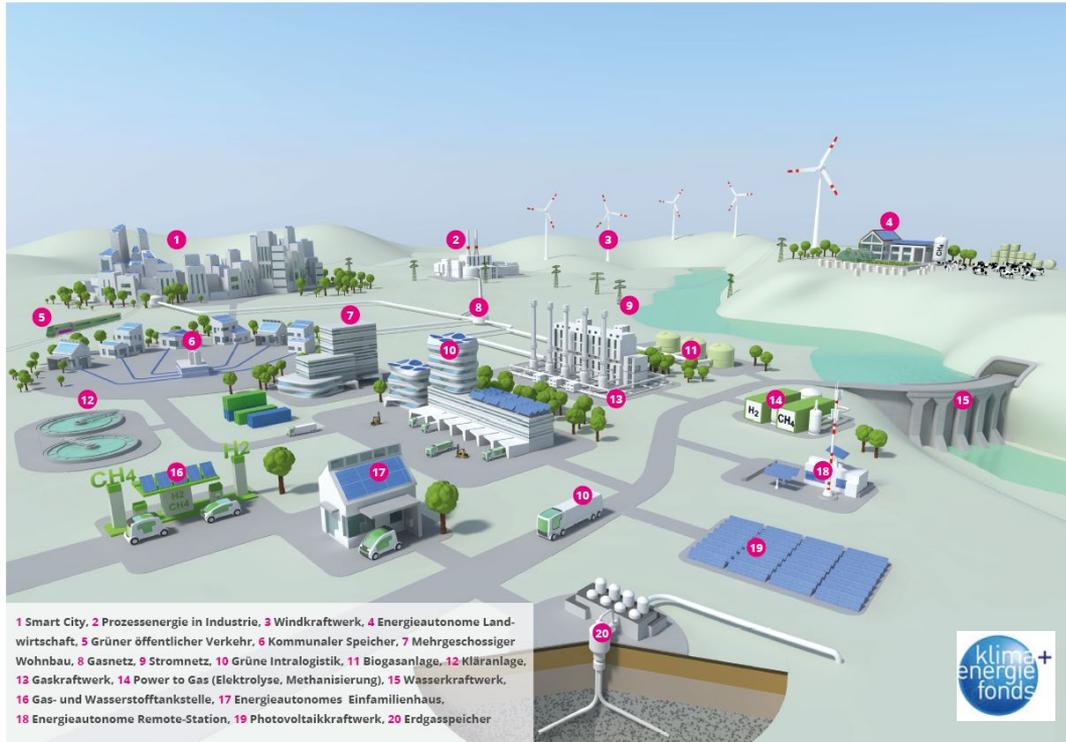
Caetano Bus, H2.City  
Gold, Portugal

- **Dekarbonisierung des gesamten innerstädtischen Busverkehrs der Stadt Graz**
- **Modellierung des idealen Technologiesplits** zwischen batterieelektrischen und Brennstoffzellenbussen
- **Errichtung einer 350 bar Wasserstofftankstelle am Buscenter**
- **Entwicklung einer effizienten und hochqualitativen H<sub>2</sub>-Kompressionstechnologie für extreme Drücke**

- Evaluierung der **Nutzungsmöglichkeiten** und Erhebung des regionalen Wasserstoffbedarfs
- Zusammenstellung technischer Eigenschaften von Wasserstoffanwendungen inklusive erforderlicher Erzeugungs-, Speicherungs- und Distributionsinfrastruktur
- **Techno-ökonomische Bewertung** unterschiedlicher Szenarien
- Betrachtung grundlegender **Sicherheitsanforderungen** insbesondere im Hinblick auf den Betrieb Wasserstofffahrzeugen und -infrastruktur



- **Vision: Wasserstoffbasiertes Energiesystem** in Kombination mit erneuerbaren Energieträgern für alle Wirtschaftssektoren



Landesgesellschaft Österreich



## Kontakt:

HyCentA Research GmbH

Inffeldgasse 15

A-8010 Graz

[www.hycenta.at](http://www.hycenta.at)

[office@hycenta.at](mailto:office@hycenta.at)

**DI Dr. Bianca Grabner**

Project Manager and Key Researcher

+43 316 873 9525

[grabner@hycenta.at](mailto:grabner@hycenta.at)



MOTIVATION STANDORT PROJEKTE WASSERSTOFF ORGANISATION DE



## Vision

Das HyCentA (Hydrogen Center Austria) fördert die Nutzung der von Wasserstoff als regenerativem Energieträger. Mit einem Wasserstoffprüfzentrum und der ersten österreichischen Wasserstoffabgabestelle fungiert das HyCentA als Kristallisationspunkt und Informationsplattform für wasserstoffbezogene Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.