

Wasserstofftechnologien für die zukünftige, defossile Energieversorgung

Peter Wasserscheid



Klimawandel als globale Herausforderung

Nur die weltweite Anwendung innovativer Energiewende-Technologien kann den Klimawandel wirksam abmildern.

Technologien, die fossile CO₂ – Emissionen vermeiden, sollten überall auf der Welt funktionieren.

Weltweite Nutzbarkeit ermöglicht weltweiten Technologieexport.



Klimawandel - ein drängendes Problem

Lösungen auf Basis bestehender Infrastrukturen ermöglichen eine schnellere weltweite Umsetzung.

Umwidmung bestehender Energie-Infrastrukturen (Gaspipelines, Tankschiffe, Tanklager) für die Logistik von grünem Wasserstoff vermeidet enorme Investitionen.

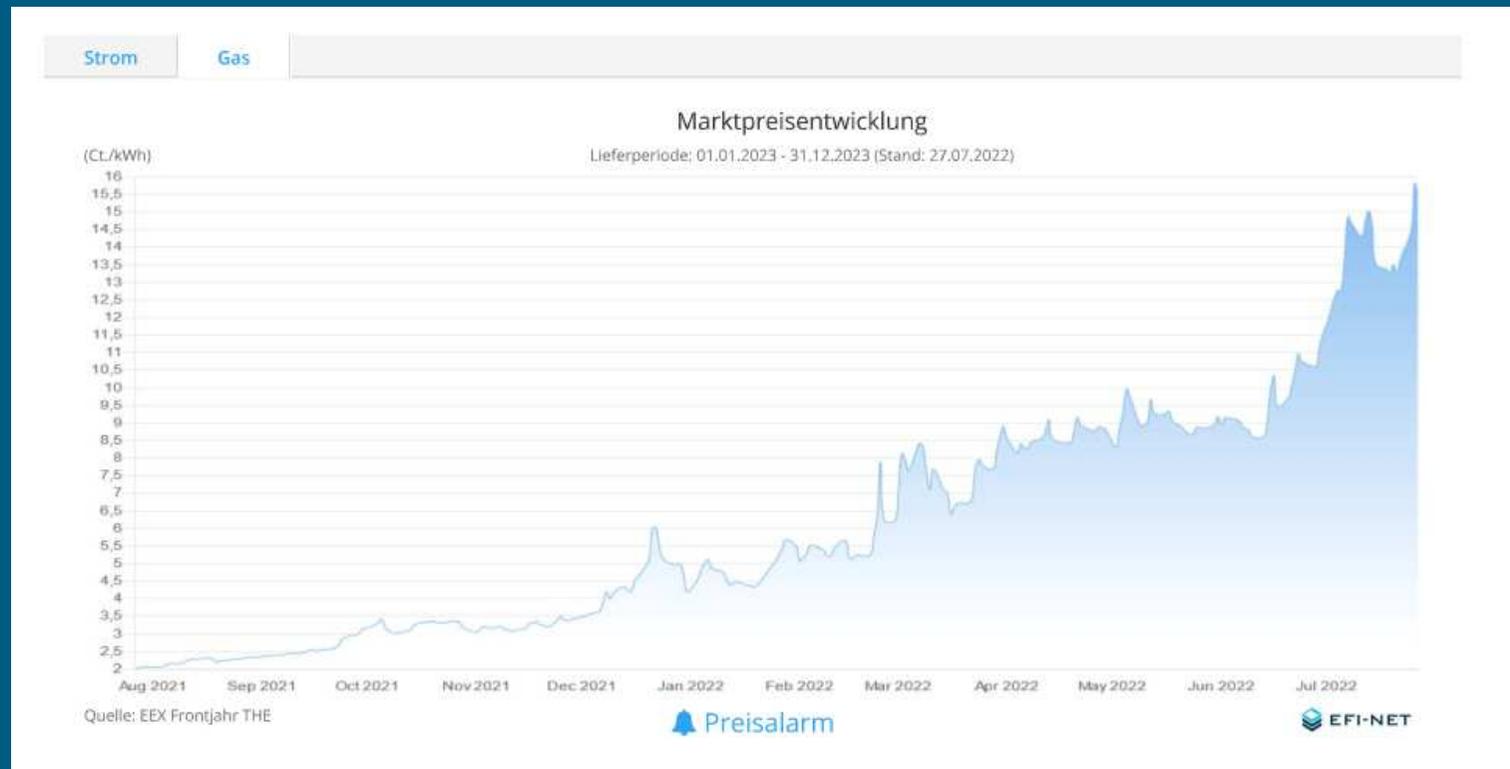


Geopolitische Verwerfungen im Energiemarkt

Starke Abhängigkeit vom Erdgas-Lieferanten Russland

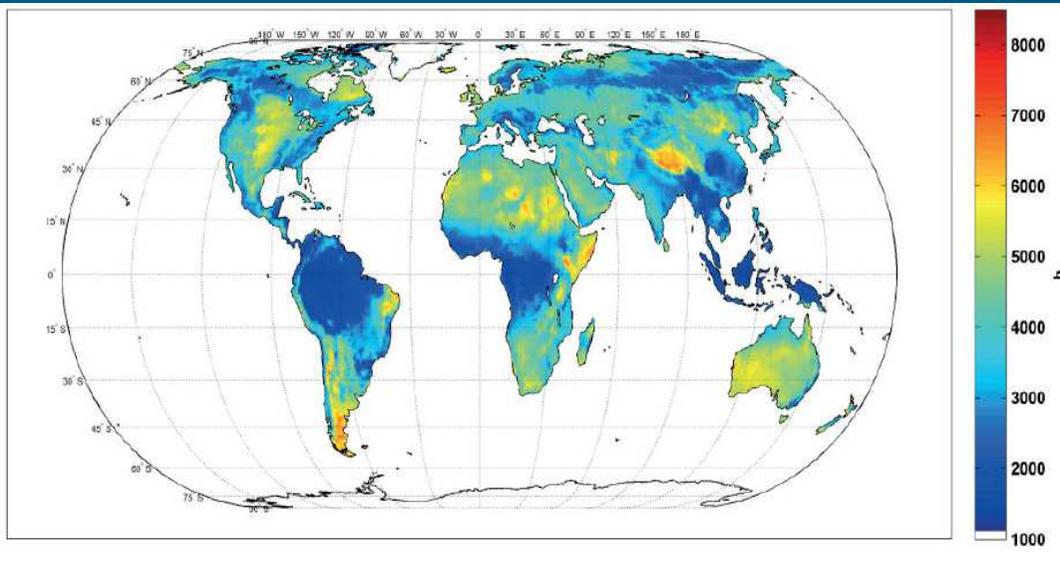
Massive Preiserhöhung durch Russland-Ukraine-Konflikt

Neue Lieferanten werden erschlossen - dauerhaft höhere Preise sind zu erwarten



Quelle: <https://efi-net.de>; download: 28.7.2022

Unsere Herausforderung ist die Verteilung von grüner Energie !



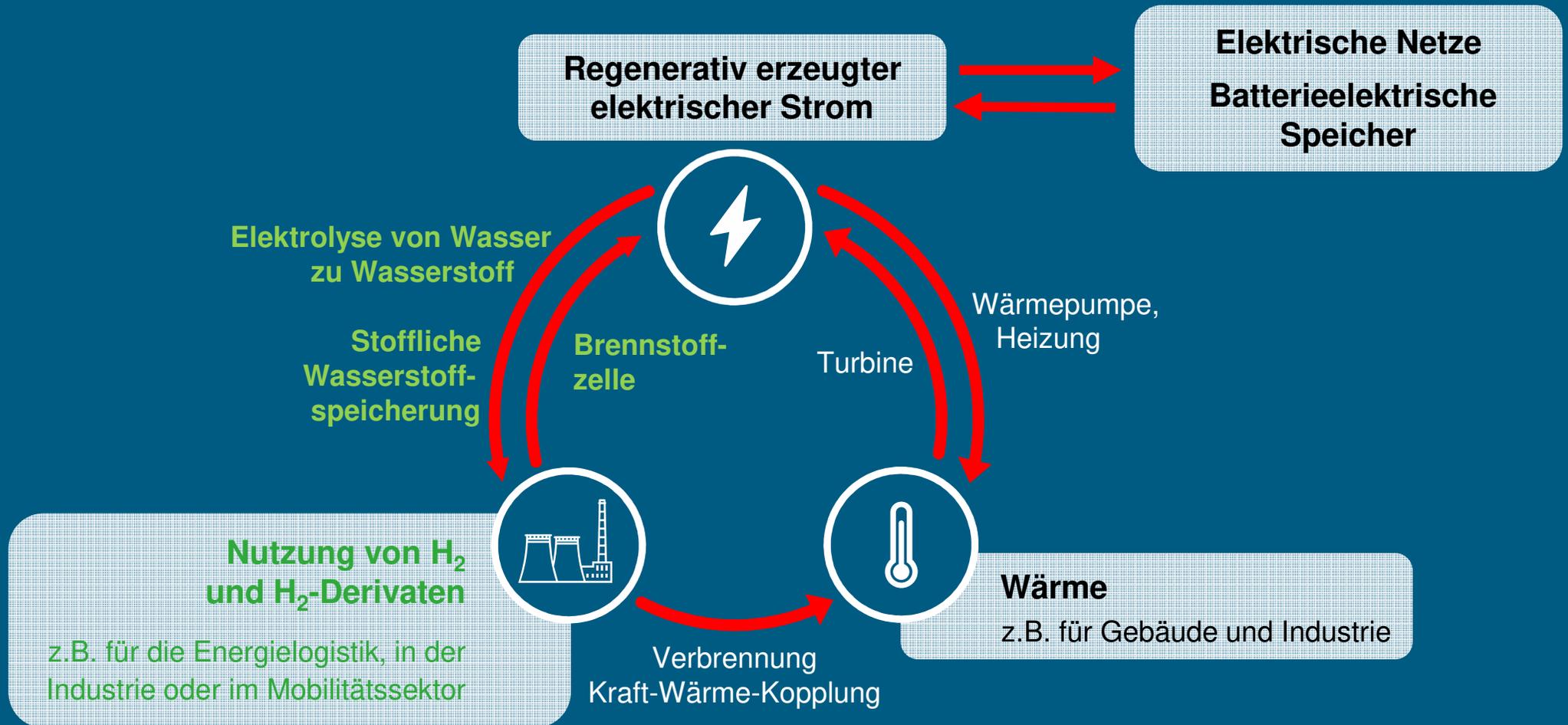
IEA (2017) Renewables



<https://earthobservatory.nasa.gov>

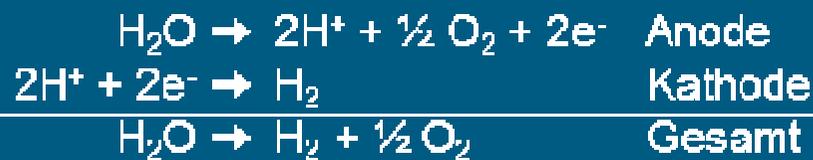
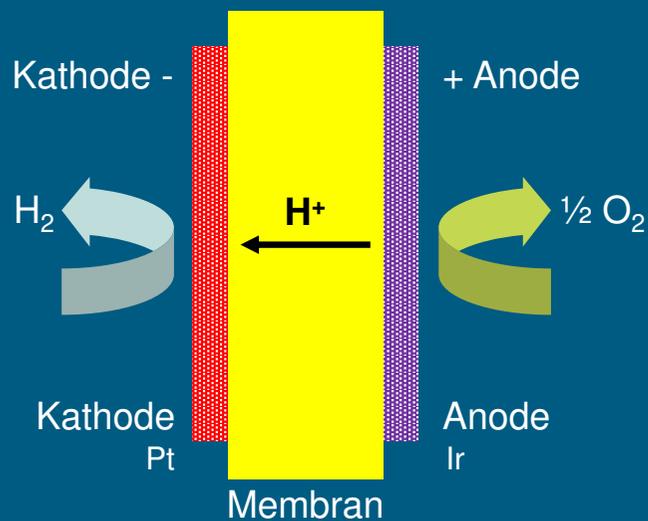
Ein Welthandel mit erneuerbaren Energieäquivalenten wird den heutigen Welthandel mit fossilen Energieträgern ablösen

Wie funktioniert das vollständig "defossilisierte" Energiesystem der Zukunft ?



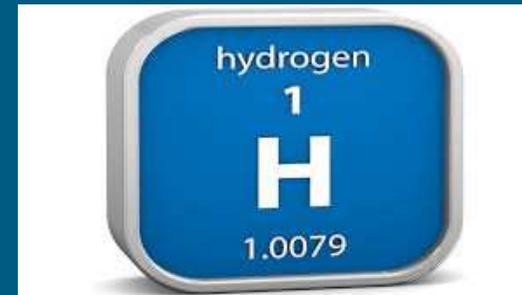
Elektrolyse mit regenerativer Energie – Der Weg zum grünen Wasserstoff

zum Beispiel:
PEM-Elektrolyse
20 – 100 °C



- Wirkungsgrad Strom-zu-Wasserstoff= 65 – 85 %
(je nach Art des Elektrolyseurs)
- einfach skalierbar
- Kosten von Elektrolysewasserstoff werden
zu ca. 75% von Stromkosten und
zu ca. 25% von den Investitionskosten bestimmt
- Bayerische Firmen in Elektrolysetechnologie
führend, z.B. Siemens Energy

Das „Einzigartige“ am Wasserstoff:



- H_2 wird mittels Elektrolyse aus Wasser gewonnen (Elektrolyse liefert H_2 und O_2)
- H_2 besitzt eine sehr hohe gravimetrische Energiedichte (33,3 kWh / kg)
- H_2 verbrennt zu Wasser und liefert dabei Strom (Brennstoffzelle) und Wärme
- H_2 dient als industrieller Rohstoff oder Hilfsstoff (z.B. Stahl- und Chemieindustrie)

→ H_2 ermöglicht ein Energiesystem ohne fossile CO_2 -Emissionen

Wasserstoff-Logistik – Schlüssel für die zukünftige Wasserstoffwirtschaft

Physikalische Speicherverfahren sind
technisch bewährt, erfordern aber neue,
komplexe Infrastruktur

Bei Normaldruck
besitzt elementarer
Wasserstoff nur
1/3000 der volume-
trischen Energie-
dichte von Diesel



„extreme“ Bedingungen:

- Hochdruckwasserstoff (bis zu 700 bar)
 - Kryogener Wasserstoff (-253 °C)
- (Pipeline-Transport schafft Abhängigkeiten)

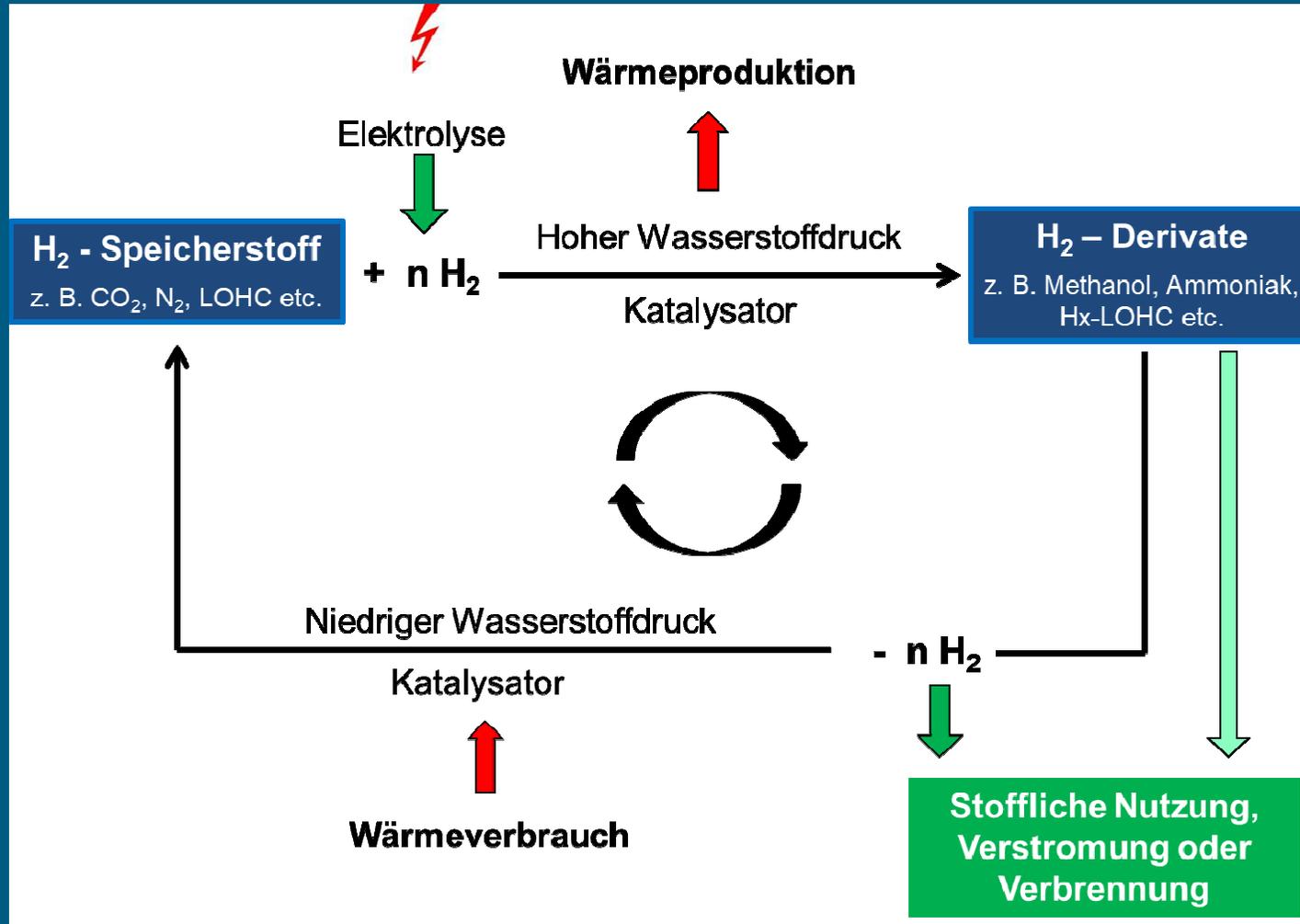
**Chemische Speicher-
Verfahren** versprechen für
viele Anwendungen hohes Potential



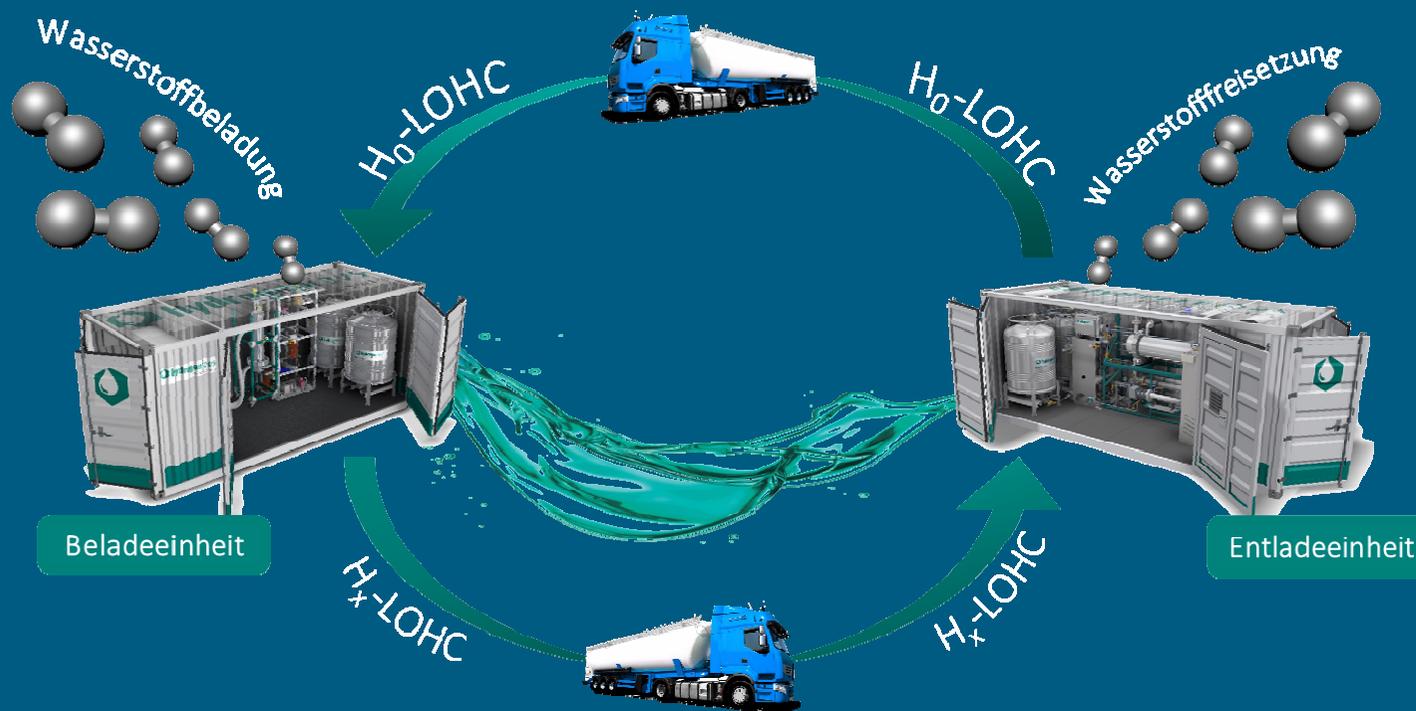
„normale“ Bedingungen

- Weiternutzung vorhandener
Infrastruktur
- Sektorenkopplung:
Stoff-Wärme-Strom

Chemische Wasserstoffspeicherung in Form von H₂-Derivaten



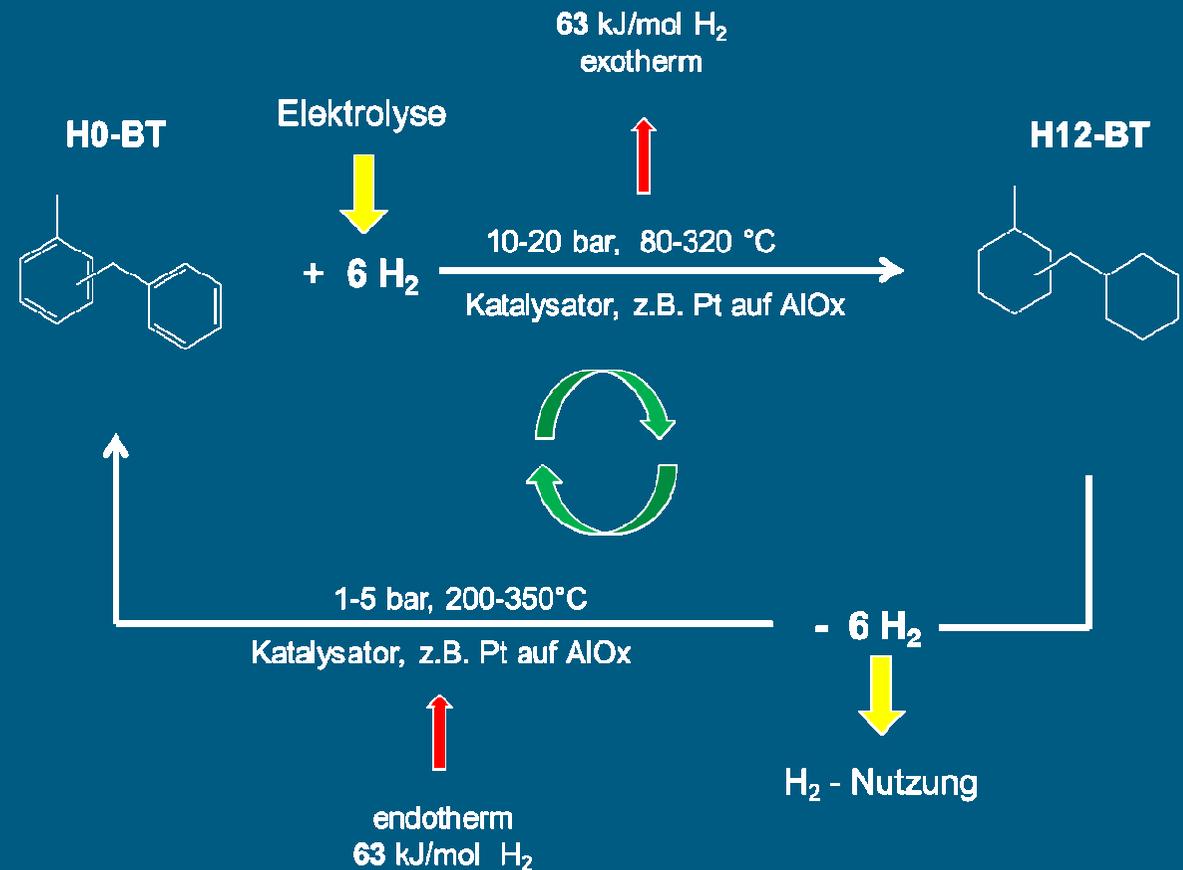
Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) - Technologie



- Wasserstoffspeicherung in kraftstoffartigen Flüssigkeiten
- Wasserstoffbeladung und -Entladung im „Kreislauf“
- CO_2 -freie Speicherung und Bereitstellung von Energie
- Flüssige „Pfandflasche“ für Wasserstoff

Das bevorzugte LOHC-System Benzyltoluol - Perhydrobenzyltoluol

- + hohe Wasserstoffkapazität (2,1 kWh/kg)
- + flüssig bis -30 °C
- + hoher Siedepunkt des Trägers (260-290 °C) → Produktion von sehr reinem Wasserstoff
- + als Wärmeträgeröl seit > 50 Jahren technisch genutzt & verfügbar
- + schwer entflammbar und sicher
- + volle Kompatibilität mit Benzin-Infrastruktur



Das bevorzugte LOHC-System Benzyltoluol - Perhydrobenzyltoluol

Storage of 57 kg H₂:



=



75 bottles (50 L each)
@ 200 bar H₂ pressure

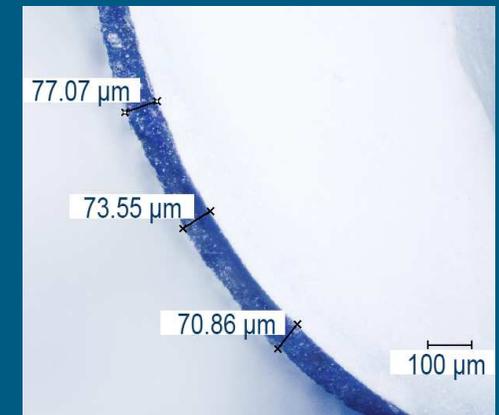
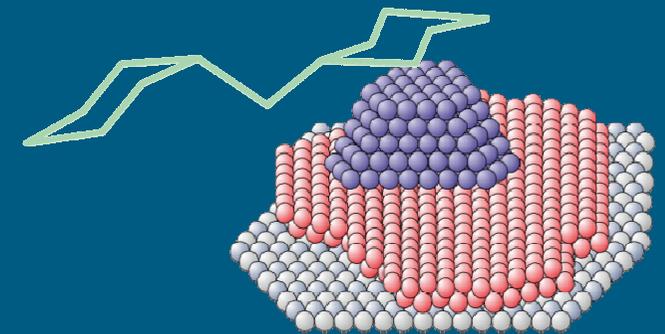
1000 L of the LOHC system
perhydro-benzyltoluene



Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Katalysatorentwicklung

- Verständnis der molekularen Prozesse am aktiven Zentrum beim Hydrier- und beim Dehydrierschritt
z.B. wie heiß darf hydriert werden, ohne dass Nebenprodukte gebildet werden?
- Verbesserung der Katalysatorproduktivität durch Einsatz von egg-shell („Eierschalen“)-Katalysatoren
→ bis zu $12 \text{ g H}_2 \text{ g}^{-1}(\text{Pt}) \text{ h}^{-1}$ erreicht (24 kW pro Gramm Pt)

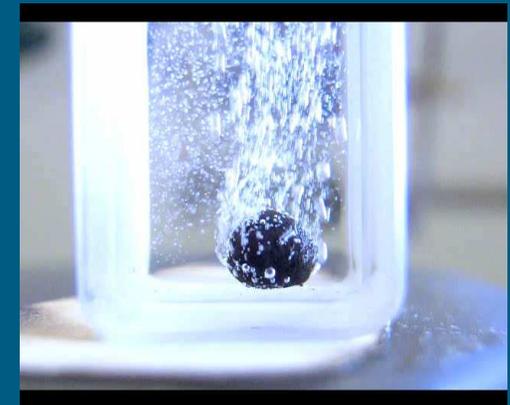
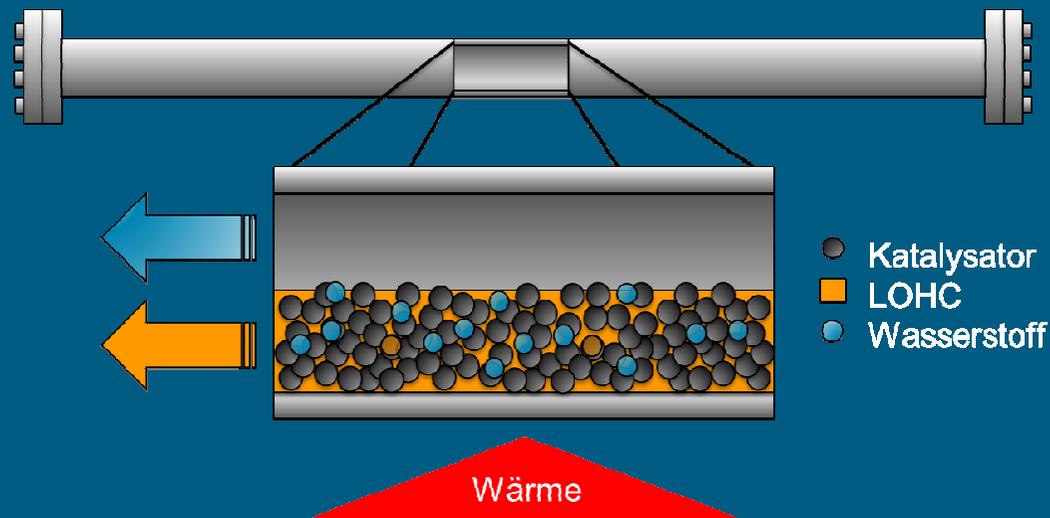


in Kooperation mit Tanja Franken, Hans-Peter Steinrück, Jörg Libuda und Mitarbeiter:innen

Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Entwicklung der Transformationseinheiten

- Wasserstofffreisetzung: 1 ml LOHC setzt ca. 630 ml Wasserstoffgas frei!



- LOHC-Beladung kann auch mit wasserstoffreichen Mischgasen erfolgen, z.B. Gasgemischen aus der Biomasse-Pyrolyse

in Kooperation mit Jürgen Karl, Carolin Körner, Patrick Schühle und Mitarbeiter:innen

Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

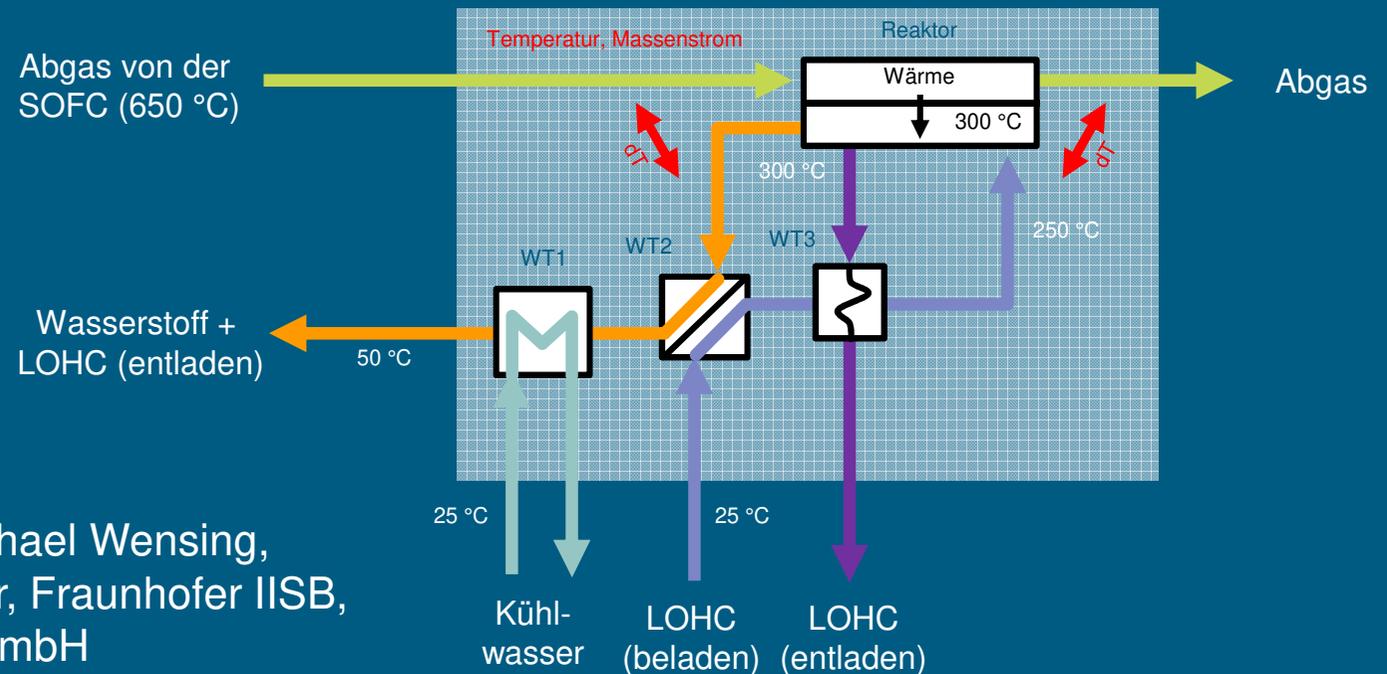
Wärme- und Systemintegration

- Abwärme der Wasserstoffverstromung soll zur Dehydrierung genutzt werden

Ergebnis: Bei geeigneter Prozessführung entspricht der Gesamtwirkungsgrad von Wasserstofffreisetzung und Verstromung fast dem Wirkungsgrad der Brennstoffzelle

Beispiel:

LOHC-Dehydrierer im
SOFC-Abgas-Betrieb:



in Kooperation mit Andreas Fröba, Michael Wensing,
Stefan Will, FAU, und Richard Öchsner, Fraunhofer IISB,
und Mitarbeiter:innen, Robert Bosch GmbH

Real-life Umsetzung unserer LOHC-Technologie

hydrogenious
LOHC TECHNOLOGIES

www.hydrogenious.net



nominiert 2018
(Kreis der 3 Besten)

- Gründung 2013 durch Dr. Teichmann und Profs. Art, Schlücker und Wasserscheid
- Derzeit 190 Mitarbeiter, dynamisch wachsend
- Nationale und internationale Investoren
- Entwicklung und Produktion in Erlangen

Einsatzszenarien der LOHC-Technologie – heute

Wasserstofflogistik mittels LOHC



H₂-arme Form
des Speicher-
systems

Elektrolyse-
Wasserstoff
Produktionskosten
2 - 4 €/kg

Wasserstoff-Erzeugung
aus regenerativer
überschüssiger Energie
durch Elektrolyse

H₂

katalytische
Hydrierung

Größte Einspeiseanlage
im Bau: **5 Tonnen H₂/Tag**

H₂-reiche Form
des Speicher-
systems

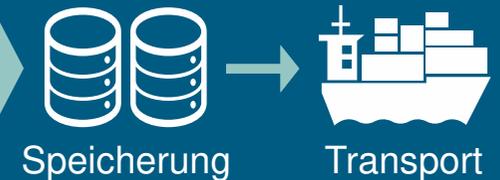


Wasserstoff
an einer H₂-Tankstelle
12,85 €/kg

Wasserstoff-Nutzung
z.B. in Brennstoffzellen oder
Wasserstoffverbrennungs-
motoren

H₂

katalytische
Dehydrierung



Speicherung

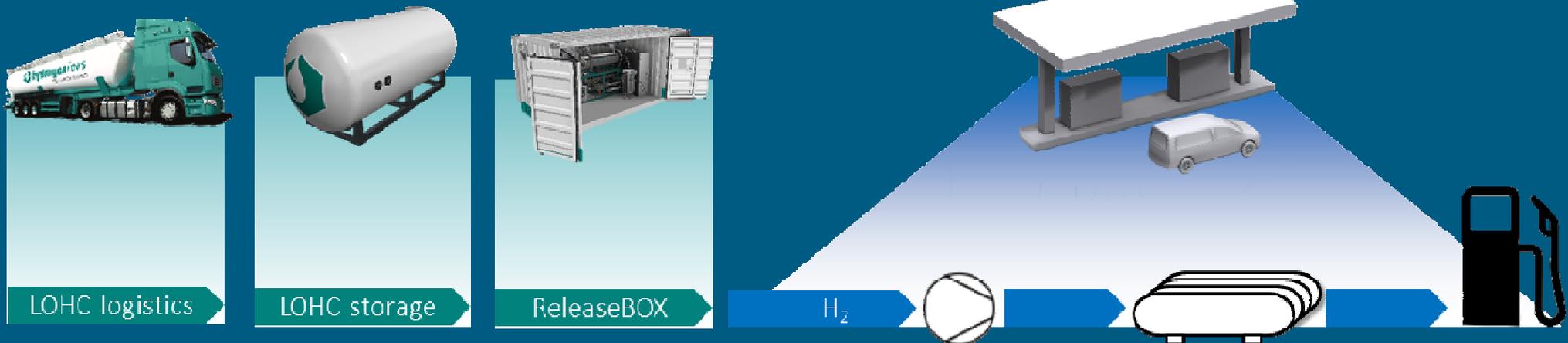
Transport



Vertrieb

Einsatzszenarien der LOHC-Technologie – heute

Wasserstofflogistik mittels LOHC



1850 kg
LOHC-gebundener
Wasserstoff pro LKW

Lagerung im existierenden Tank und
Dehydrierung im Container

Kompression – Kühlung – Vertankung
(identisch mit heutigen H₂-Tankstellen)

**Wasserstoffqualität für
Brennstoffzellenfahrzeuge wird erreicht !**

Gefördert durch BMBF Kopernikus Power2X

Erste kommerzielle H₂-Tankstelle mit H₂-Belieferung via LOHC

eröffnet am 2. Juli 2022 durch Staatsminister Thorsten Glauber; <https://h2-mobility.de>



Aktuelle Forschung mit Realisierungshorizont 3-5 Jahre

2025+

On-board H₂-Freisetzung
aus LOHC

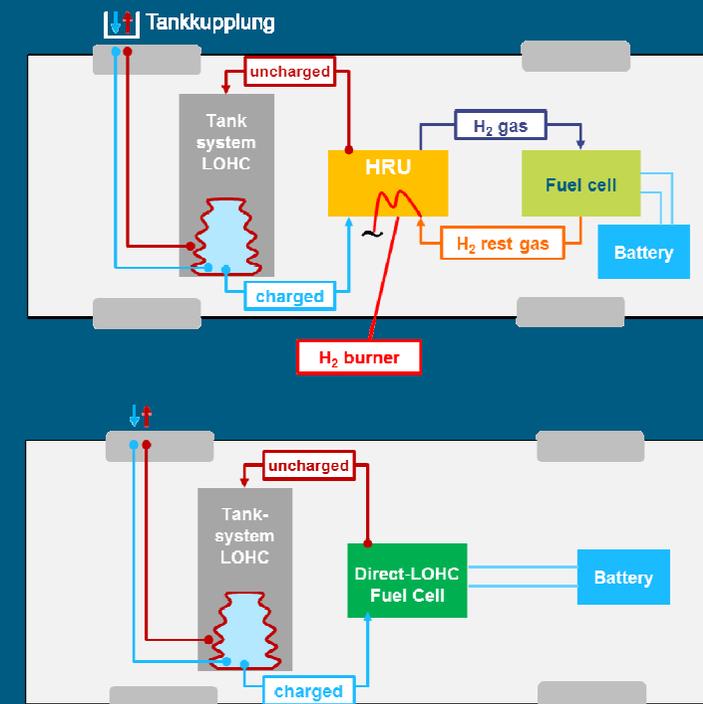


Advantages:

- Bestehende Tankstellen nutzbar
- 'hydrogen-free hydrogen mobility'

R & D (Bayerisches
Zugprojekt: 32 Mio €)

- On-board H₂-Freisetzung + PEM-Brennstoffzelle
- Direkt-LOHC-Brennstoffzelle (Kooperation mit Schöffler)
- Autotherme Freisetzung aus LOHC-Systemen



Bayerische Wasserstoffforschung in Industrie und Akademia



5.9.2019 Nürnberg

Das Zentrum Wasserstoff Bayern ist ein Netzwerk mit heute über 270 Mitgliedsfirmen
www.h2.bayern

Zentrum Wasserstoff Bayern und Wasserstoff-Allianz Bayern



Mai 2020:
Positionspaper Wasserstoff in Bayern



Mai 2020:
Bayerische Wasserstoffstrategie



April 2022:
Wasserstoff Roadmap Bayern



- 270 Partner**
- 220 Firmen**
- 19 Universitäten/Forschungseinrichtungen**
- 24 Verbände**
- 7 andere**

Es ist richtig und wichtig unterschiedliche Wasserstofftechnologien zu entwickeln !

Auch das fossile Energiesystem nutzt heute unterschiedliche Energieträger wie Kohle, Schweröl, Diesel, Benzin, Erdgas - je nach Anwendung und Einsatzregion.

Für die Wasserstoffwirtschaft der Zukunft werden absehbar auch unterschiedliche Speicher- und Transportformen wichtig sein – je nach Anwendung und Einsatzregion.

Diese Technologien müssen **jetzt** weiterentwickelt und in relevanter Größenordnung realisiert werden, um **bald** einen klimarelevanten Beitrag liefern zu können.

“The Stone Age did not end for lack of stone, and the Oil Age will end long before the world runs out of oil.”

Sheikh Ahmed Zaki Yamani, früherer Ölminister von Saudi Arabien im Jahr 2000

