
IST EINE FOKUSSIERUNG AUF E-MOBILITÄT RICHTIG? SACHSTAND DES BRENNSTOFFZELLENANTRIEBS

„Die Brennstoffzelle und die deutschen Autohersteller - eine On-off-Beziehung?“



Prof. Dr. Christopher Hebling

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Hot Concepts by Badenova

Hotel Kronazar, Rust
07.11. 2019

www.ise.fraunhofer.de

CONFIDENTIAL

Wasserstoff und Energiewende

Stakeholder-Konferenz zur nationalen Wasserstoffstrategie, am 05.11.19, Berlin

- **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie**
- **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur**
- **Bundesministerium für Bildung und Forschung**
- **Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung**



Wasserstoff und Energiewende

Stakeholder-Konferenz zur nationalen Wasserstoffstrategie, am 05.11.19, Berlin



Green Innovation Summit, Tokyo, October 07-11.2019

TCFD - Task Force on Climate-Related Financial Disclosures

ICEF - Innovations for Cool Earth Forum

G20 - Research and Development 20 for Clean Energy Technologies RD20



Innovations for Cool Earth Forum ICEF 2019

“Initiated by Japan’s Prime Minister Shinzo Abe, ICEF brings the **world’s best minds together to solve the 21st century’s greatest environmental challenges**. ICEF’s mission is to nurture discussion and collaboration among participants and to disseminate innovations in energy and environmental technology to participants and beyond”



RD20 Conference on Research & Development for Clean Energy Technologies

„Making the best use of the world-leading expertise and knowledge“

„Combine forces in accelerating innovations in the context of climate change“



Delegationsreise Australien mit Acatech und BDI zu Wasserstofftechnologien 16.-20. Sept. 2019



Global Activities in Hydrogen and Fuel Cell Technologies



International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy



Hydrogen Council



Fuel Cell Technology Office (FCTO) of the DoE

California Fuel Cell Partnership (CaFCP), California Air Resources Board (CARB)



GOVERNMENT SUPPORT GROUP

Government Support Group GSG, Sustainable Transport Forum STF Fuel Cell and H2 Joint Undertaking



National Alliance of Hydrogen and Fuel Cells CATARC & Ministry of Science and Technology MoST

WORLD ECONOMIC FORUM



HySA Hydrogen South Africa



MISSION INNOVATION

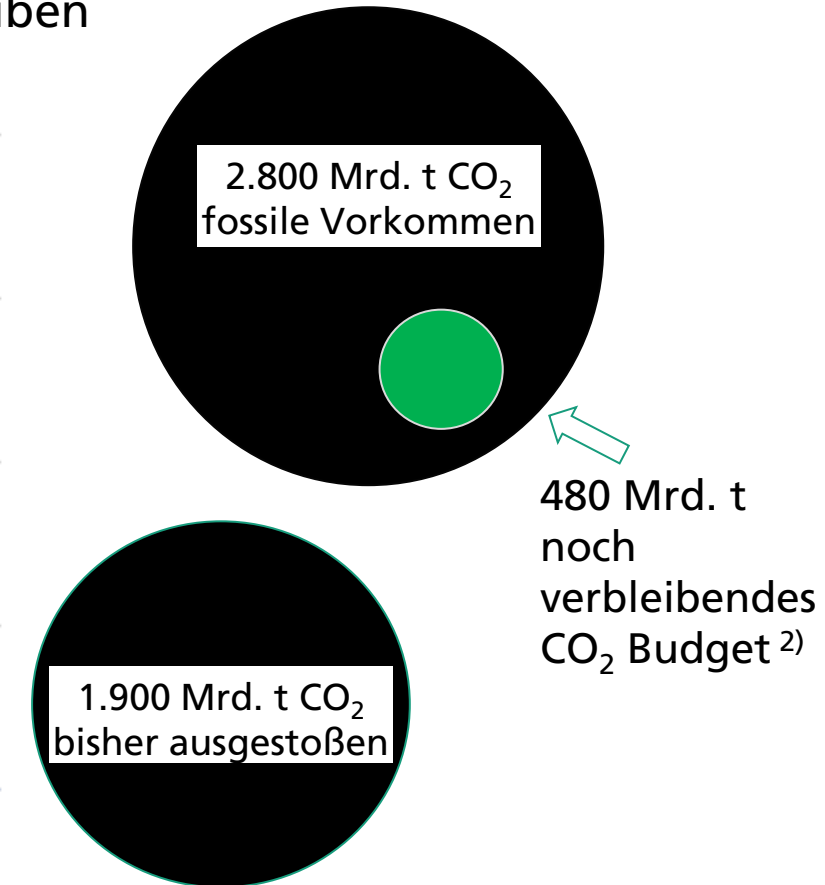
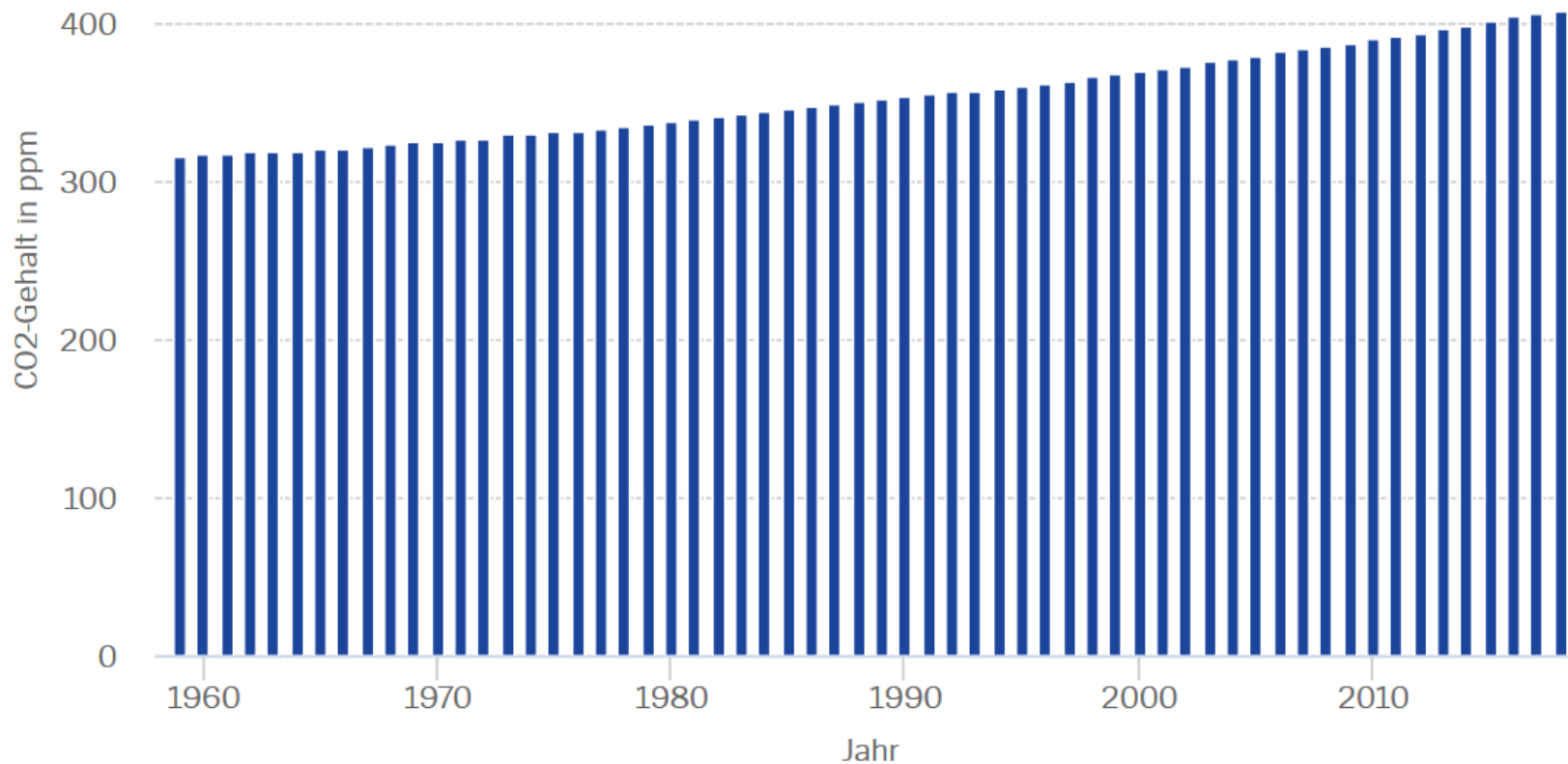
Innovation Challenge 8 Renewable and Clean Hydrogen

iea hydrogen International Energy Agency Hydrogen Technology Collaboration Program TCP

Die Ausgangslage – der CO₂- Gehalt in der Atmosphäre

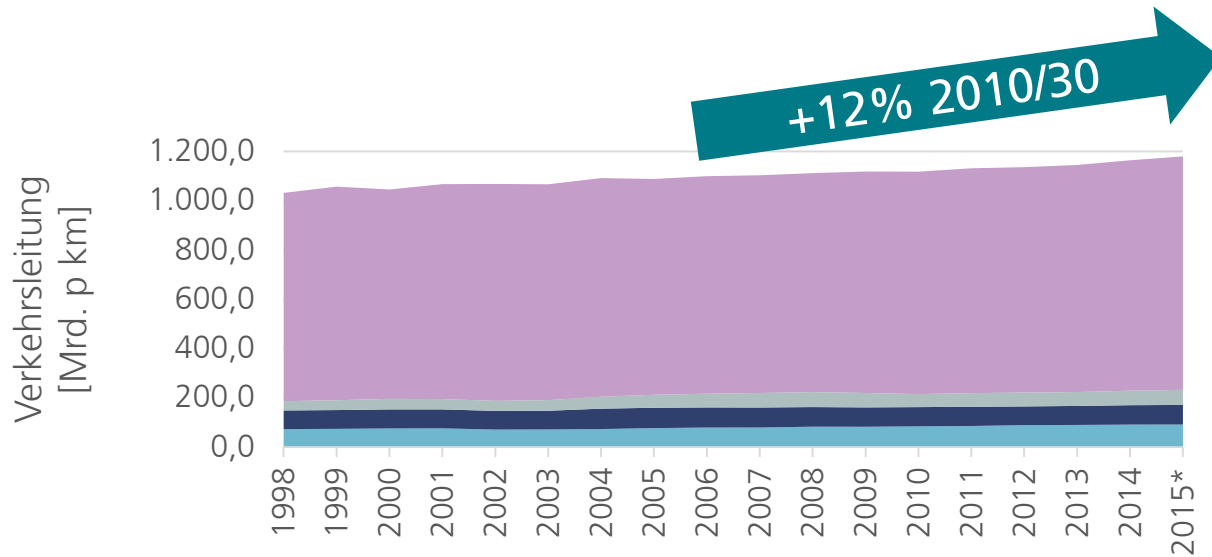
Das globale CO₂-Budget ist in etwa 12 Jahren aufgebraucht

1,5 Grad Ziel Paris: 85% der fossilen Vorkommen müssen in der Erde bleiben



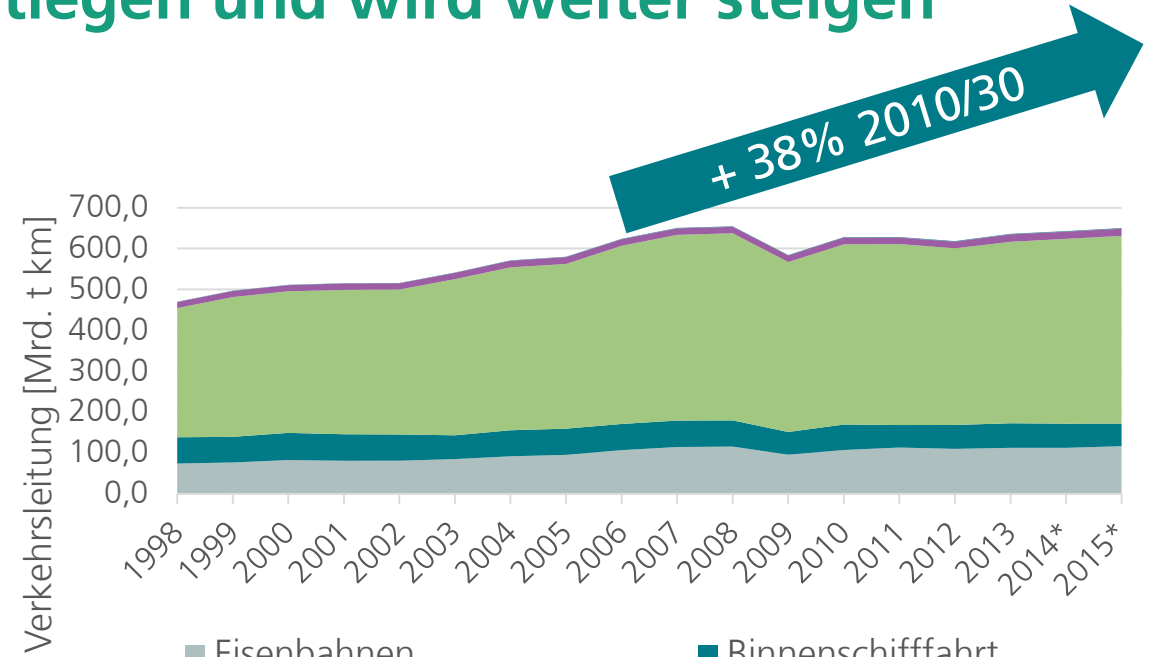
Mobilität in Deutschland

Verkehrsnachfrage in Deutschland ist gestiegen und wird weiter steigen



- Motorisierter Individualverkehr
- Öffentl. Straßenpersonenverkehr
- Luftverkehr
- Eisenbahnen

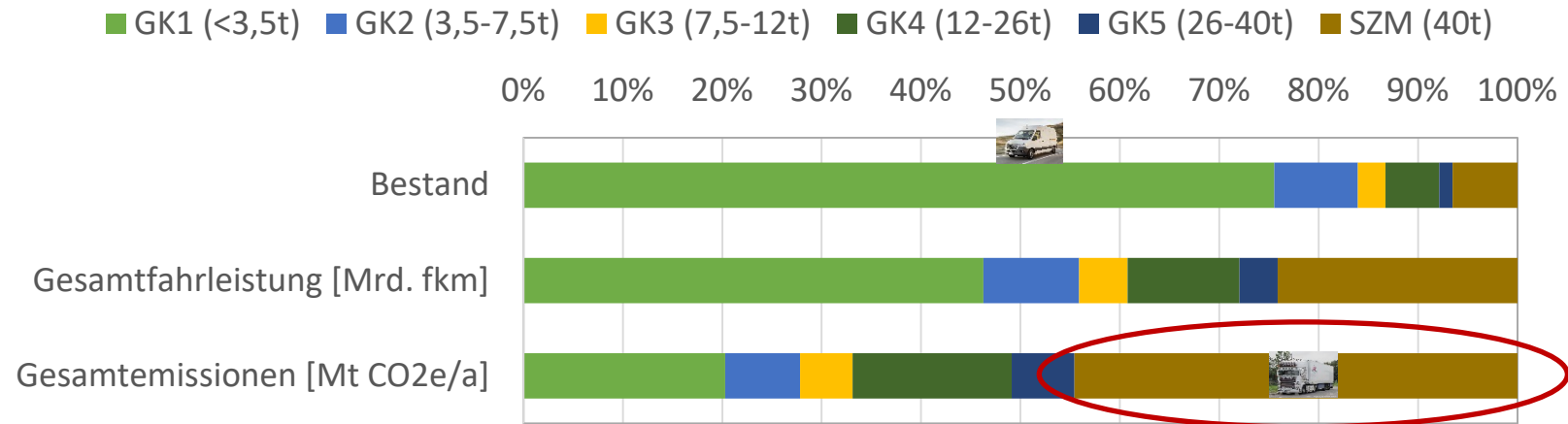
Entwicklung der Verkehrsleistung im Personenverkehr
(Deutschland von 2010 bis 2030)



- Eisenbahnen
- Straßengüterverkehr
- Luftverkehr
- Binnenschifffahrt
- Rohrfernleitungen

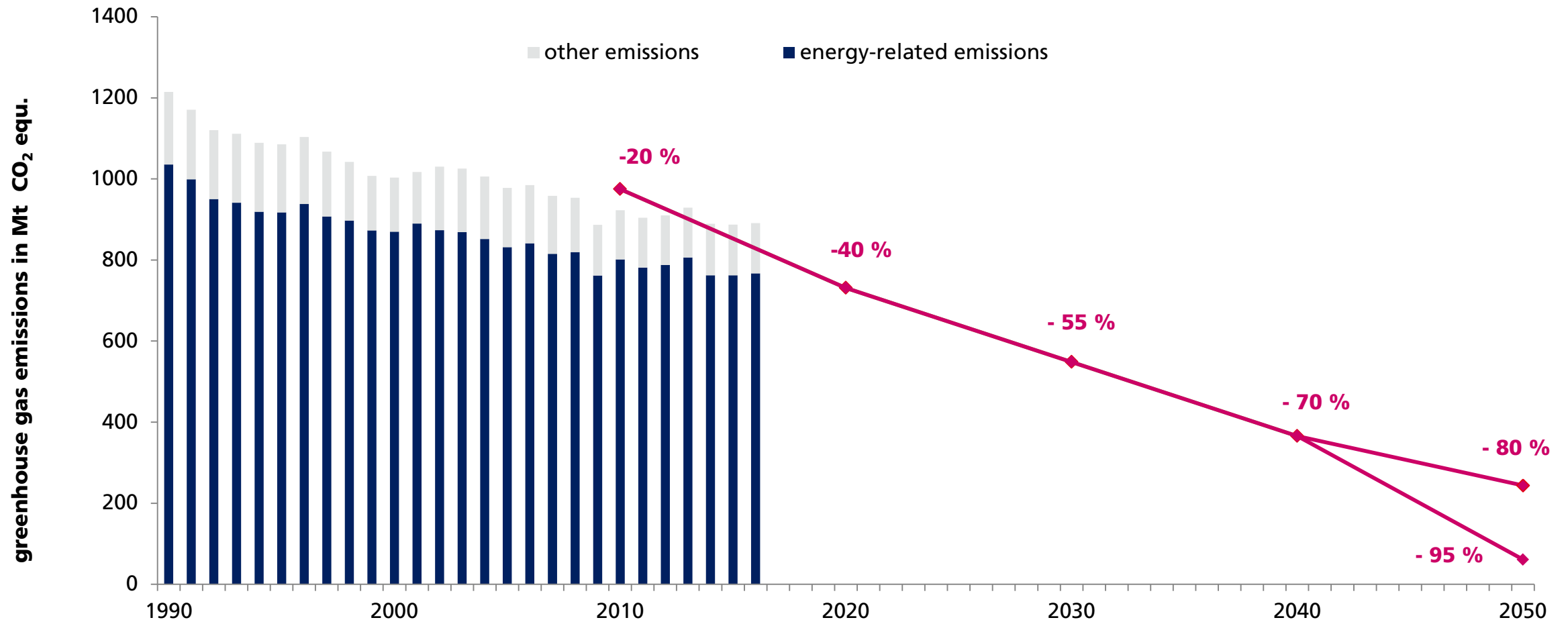
Entwicklung der Verkehrsleistung im Güterverkehr
(Deutschland von 2010 bis 2030)

Der schwere Straßengüterverkehr ist bei den CO₂-Emissionen dominant

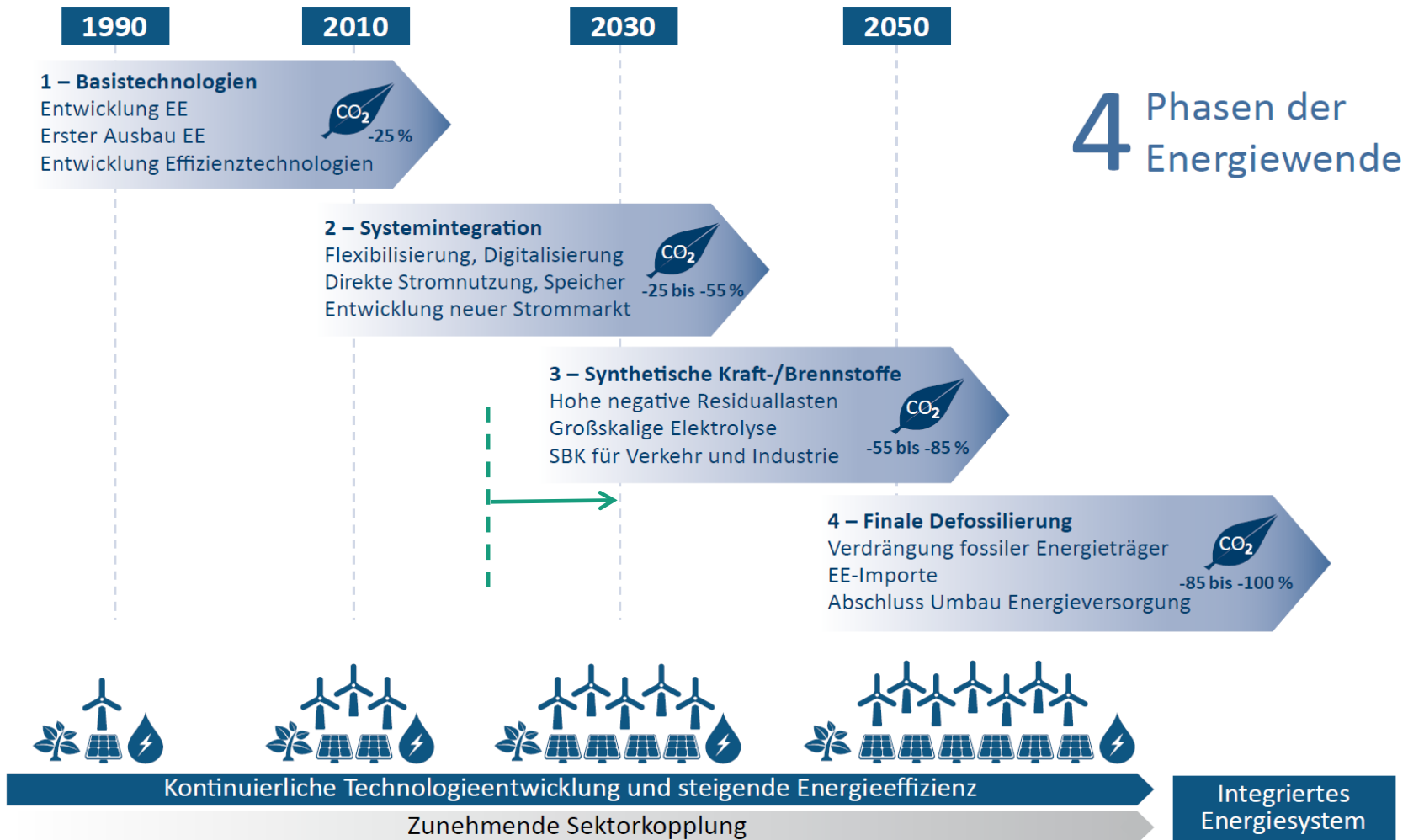


	Gesamtemissionen [Mt CO ₂ e/a]	Gesamtfahrleistung [Mrd. fkm]	Bestand
■ GK1 (<3,5t)	9,9	41,2	2.183.234
■ GK2 (3,5-7,5t)	3,7	8,6	242.760
■ GK3 (7,5-12t)	2,6	4,4	79.882
■ GK4 (12-26t)	7,8	10,0	156.743
■ GK5 (26-40t)	3,1	3,4	38.682
■ SZM (40t)	21,8	21,5	188.481

Wesentliches Ziel der »Energiewende«: Reduktion der Treibhausgase

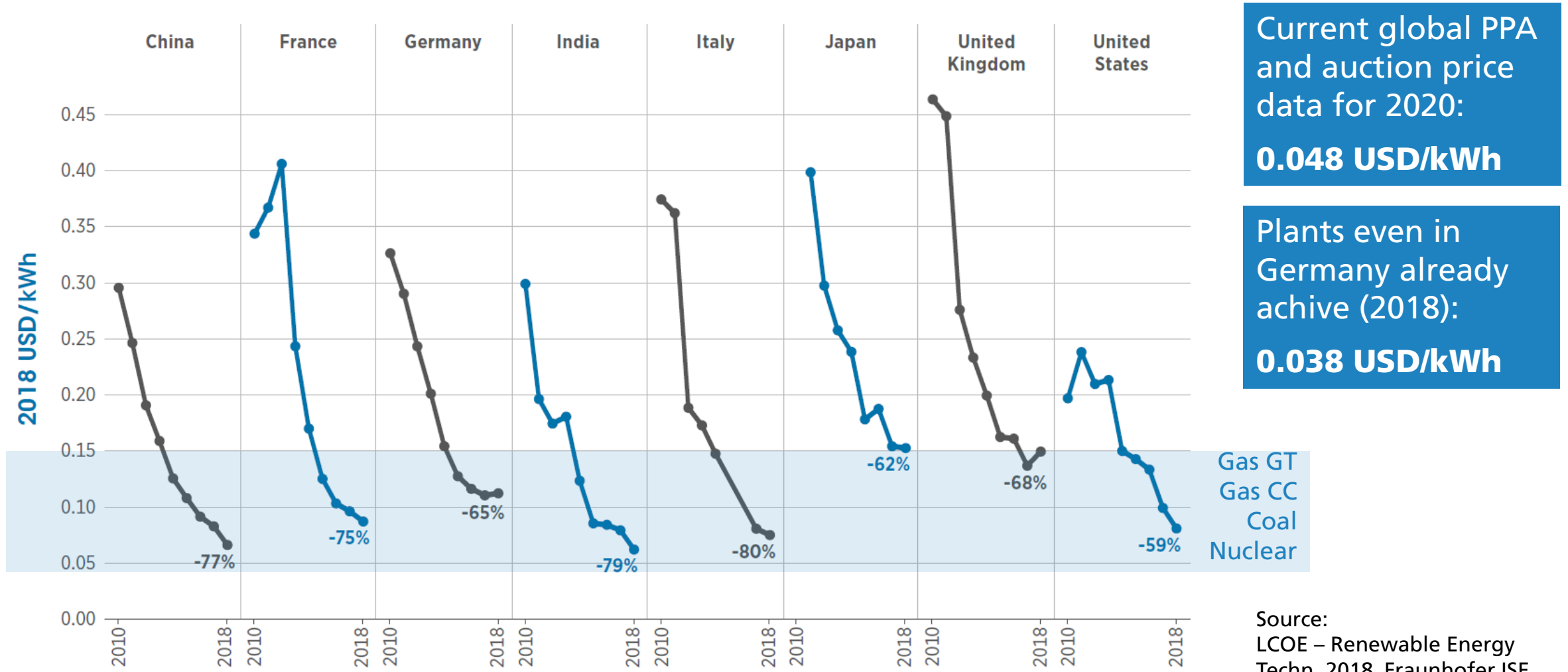


Systemanalyse – die Verkehrswende muss in den 20er Jahren wirksam werden



Quelle: »Sektorenkopplung - Optionen für die nächste Phase der Energiewende«. Veröffentlicht durch acatech, November 2017

Levelized Cost of Electricity (LCOE) of Photovoltaik Projects 2010 – 2018 (country-average; utility-scale)



14Source: Renewable Power Generation Costs in 2018, IRENA

Installierte Kapazität von Wind- und Photovoltaikanlagen über 1 TW

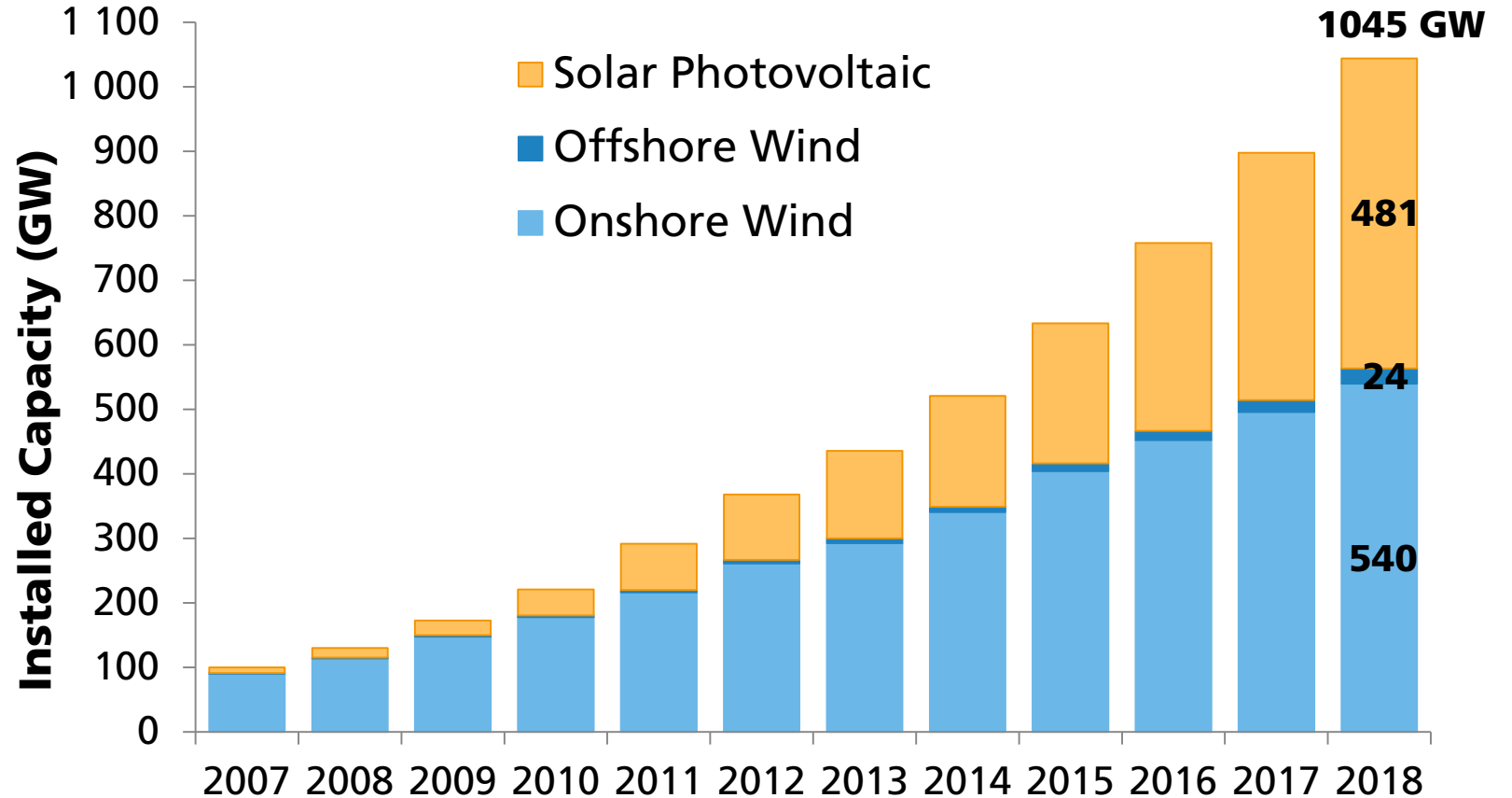
Renewables in 2018:

2356 GW Global Renewable Generation Capacity:

- 564 GW Wind
- 481 GW Photovoltaics
- 1295 GW Hydro
- 118 GW Bioenergy

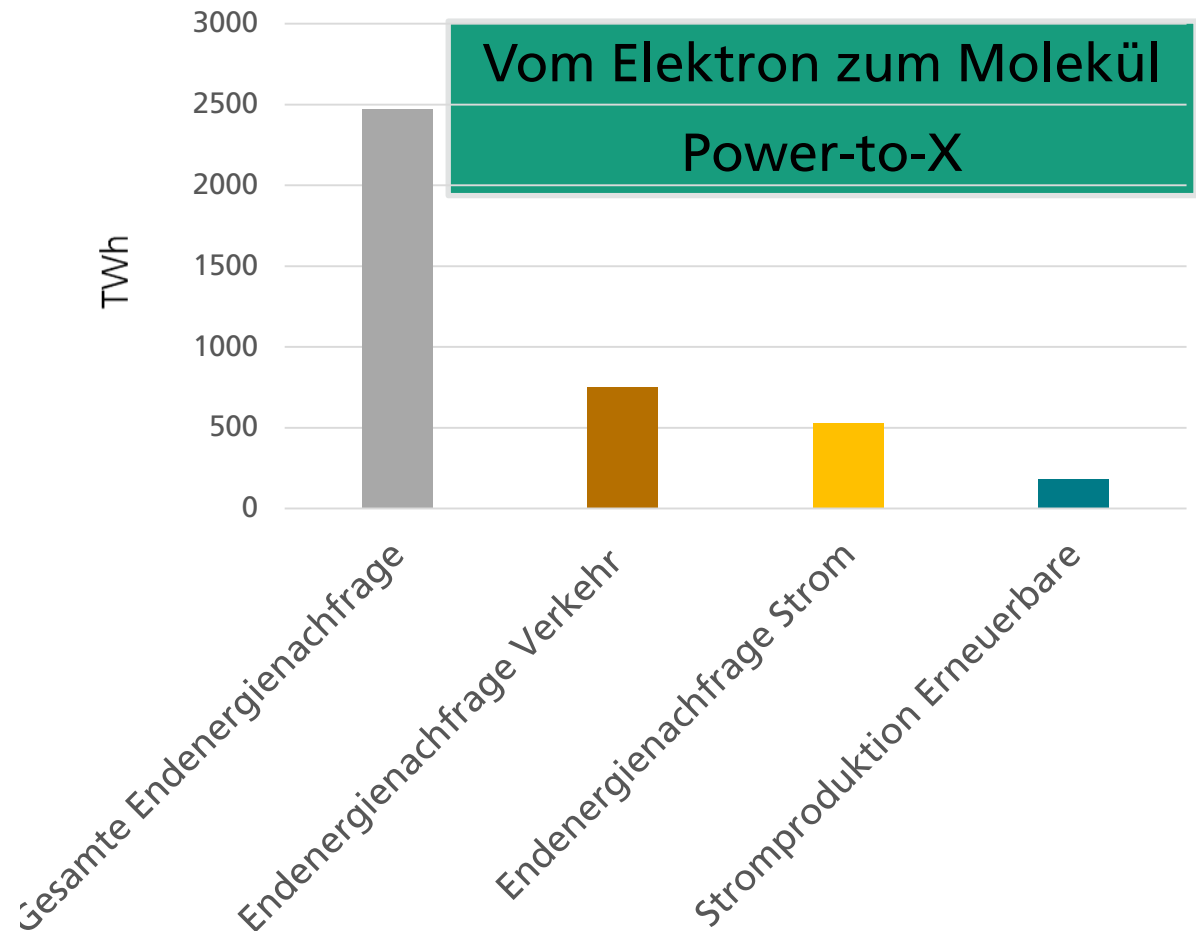
175 GW increase in global new renewable generation capacity in 2018 (86% Solar and Wind)

Source: IRENA, 2019,
<http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/>



Sektorenkopplung – Die nächste Phase der Energiewende

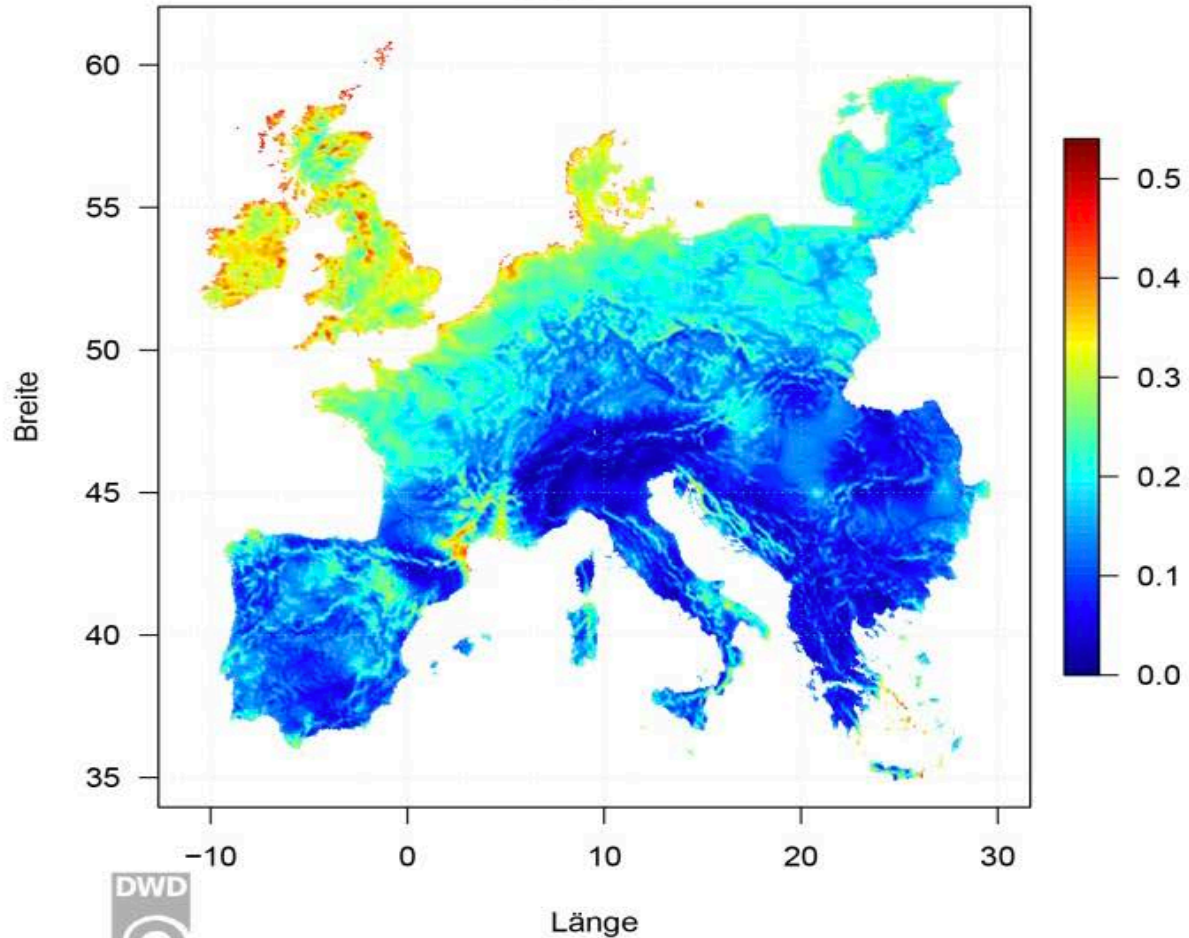
Primärenergieverbrauch in Deutschland



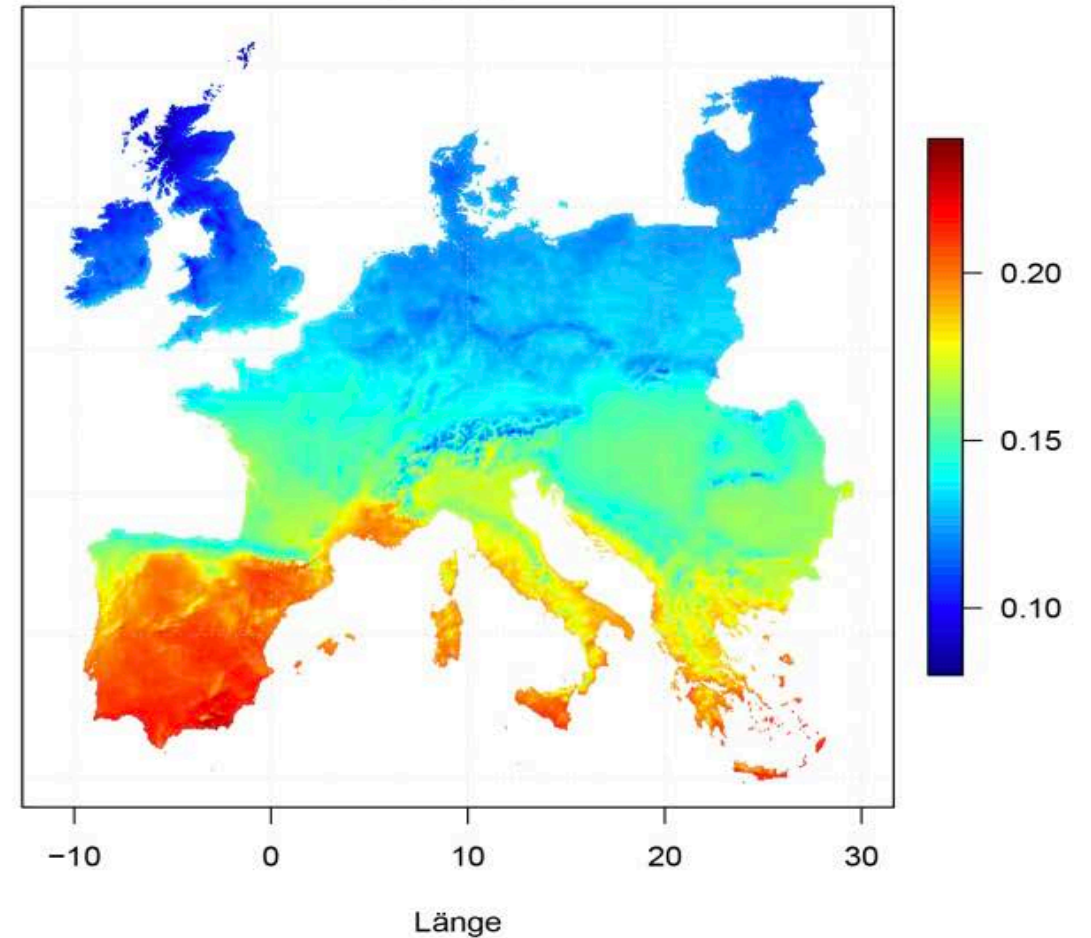
- Nur 20% unsere Endenergienachfrage decken wir durch Strom (nur 8% durch erneuerbaren Strom)
 - Heimisches Stromproduktionspotenzial durch Erneuerbare unter Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit: ~ 1.000 TWh
 - Erneuerbare Energien werden das Stromangebot dominieren, aber die Stromnachfrage wird durch Power-to-X erheblich steigen
 - Größere Mengen an synthetischen Kraftstoffen brauchen wir für den Güterverkehr sowie internationalen See- und Flugverkehr
- > Import aus Ländern mit günstigen klimatischen Voraussetzungen

Gemittelte Kapazitätsfaktoren (Volllaststunden) für Wind und Photovoltaik in Europa 1995 bis 2015

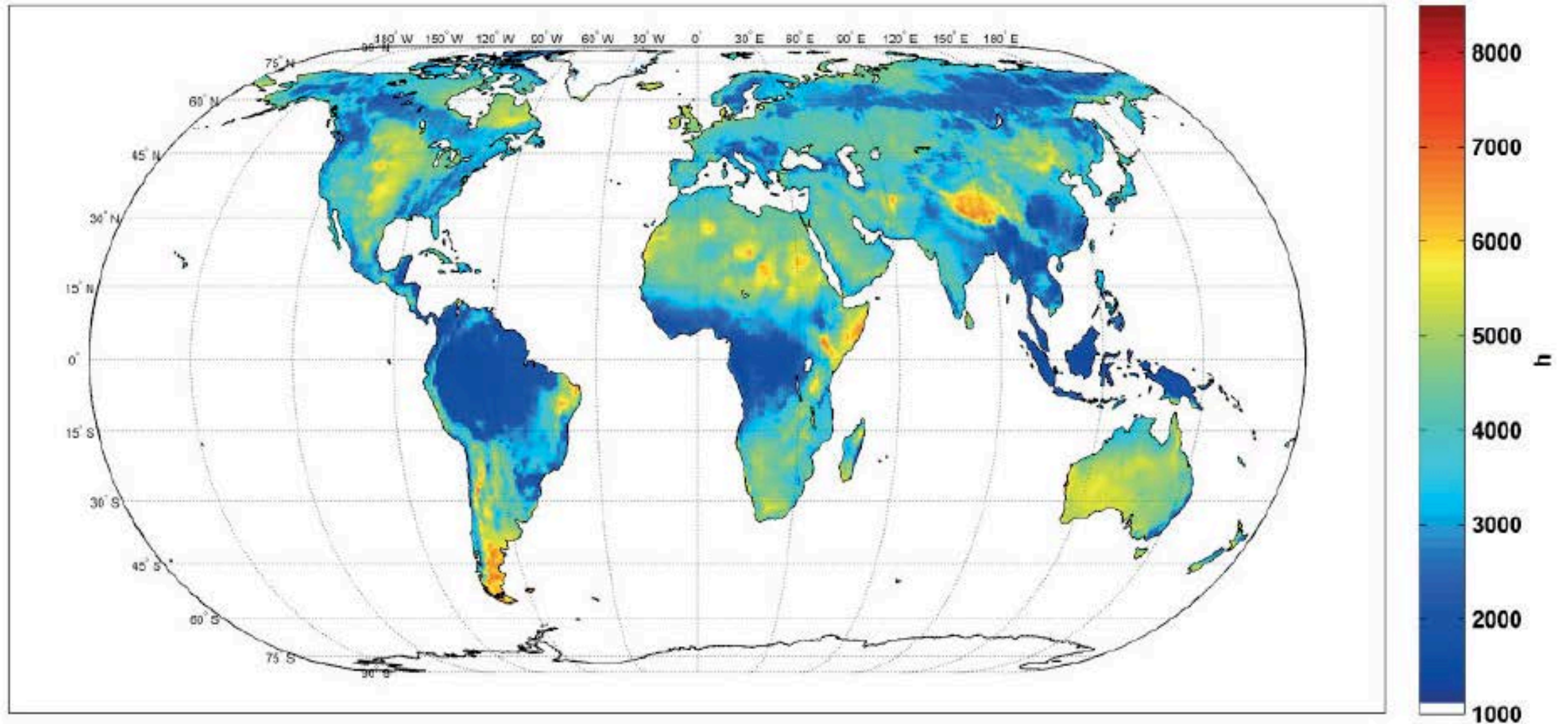
Wind



Solar



Volllaststunden für Wind und Photovoltaikanlagen kombiniert



18 Source: IEA (2017) Renewables

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

Alkalische Elektrolyseure bis in die 100-MW-Klasse seit den 1930er Jahren

Nachhaltige Wasserstoffproduktion für die Düngemittelherstellung



Aber: Marktverdrängung der Elektrolyse durch Dampfreformierung von Erdgas

Picture credits: Fell – StatoilHydro, 2008

© Fraunhofer ISE
FHG-SK: ISE-CONFIDENTIAL

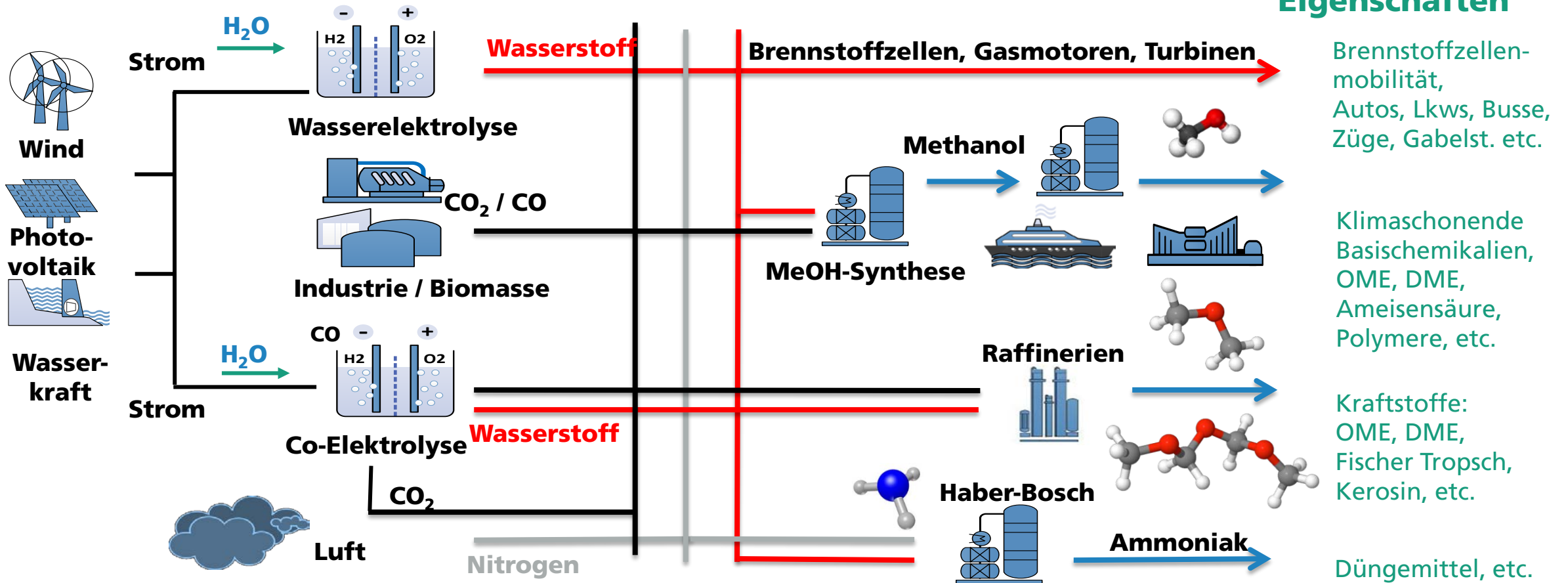
Wasserstoff im Energiesystem

Märkte und Anwendungen – Wieviel Wasserstoff wird gebraucht?

Nachhaltige Edukte

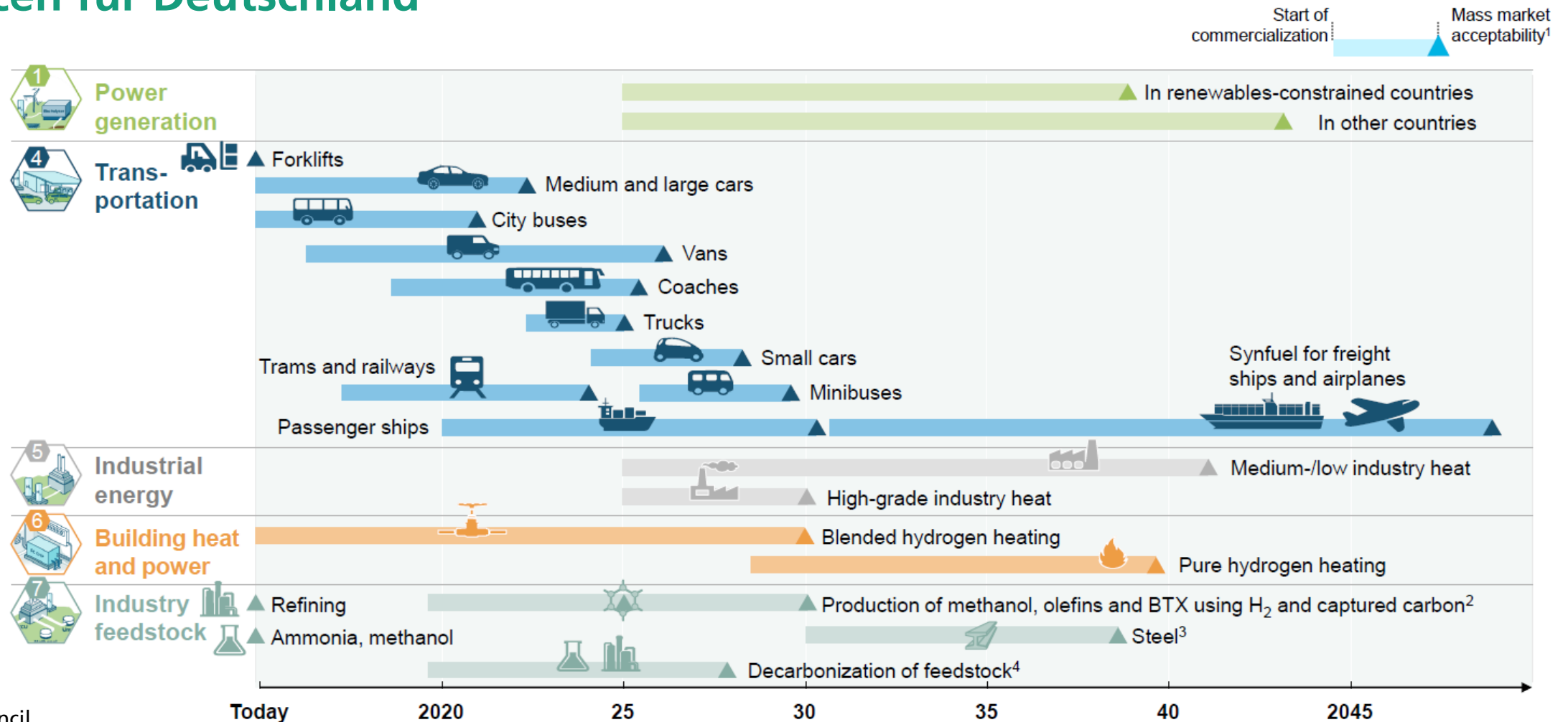
Effiziente katalytische Umwandlung

Produkte mit verbesserten Eigenschaften



Wasserstoffwirtschaft

Chancen für Deutschland



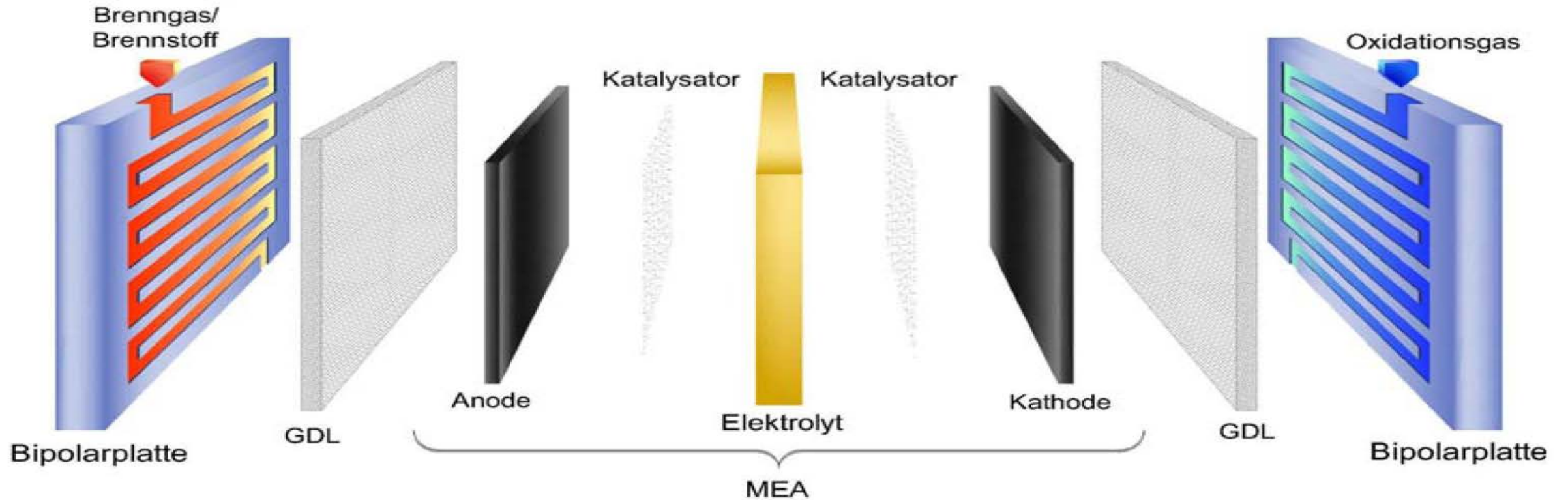
Quelle:
Hydrogen Council

1 Mass market acceptability defined as sales >1% within segment in priority markets
3 DRI with green H₂, iron reduction in blast furnaces and other low-carbon steel making processes using H₂

2 Market share refers to the amount of production that uses hydrogen and captured carbon to replace feedstock
4 Market share refers to the amount of feedstock that is produced from low-carbon sources

Der Aufbau einer Brennstoffzelle

- Reaktionsgase werden von außen zugeführt und Produkte abgeführt
- Verteilung der Reaktionsgase geschieht über über Gasverteilerstrukturen und Diffusionslagen

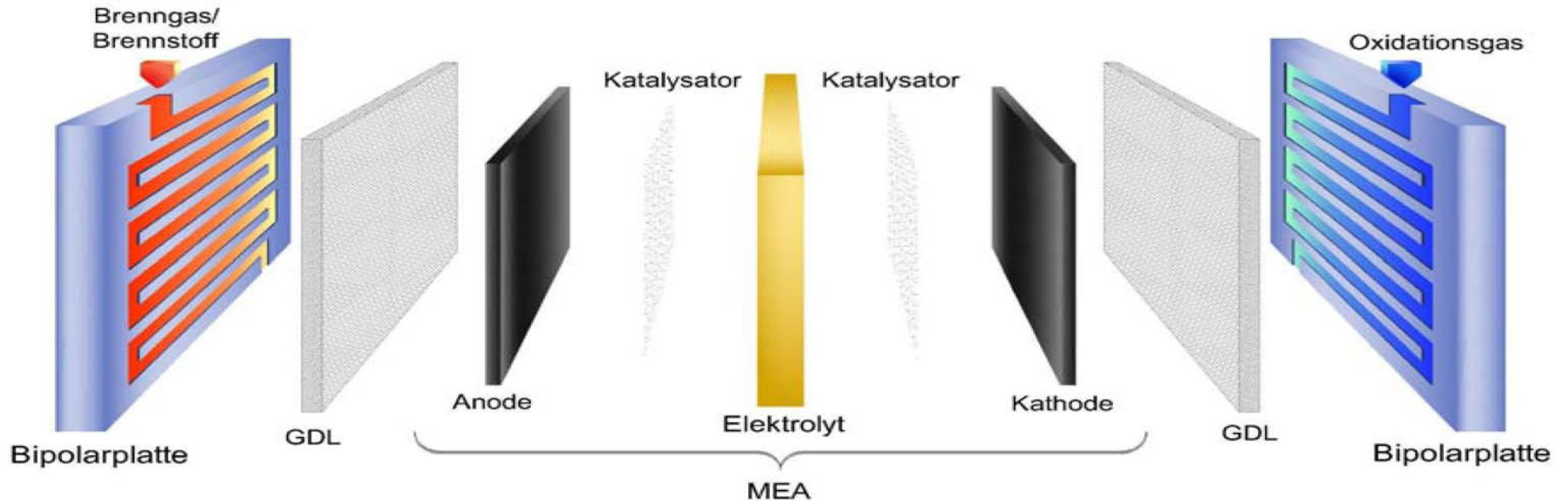


Das Funktionsprinzip einer Polymerelektrolytmembran – Brennstoffzelle PEM

Elektrochemische Prozesse wandeln die Reaktionsgase in elektrische Energie

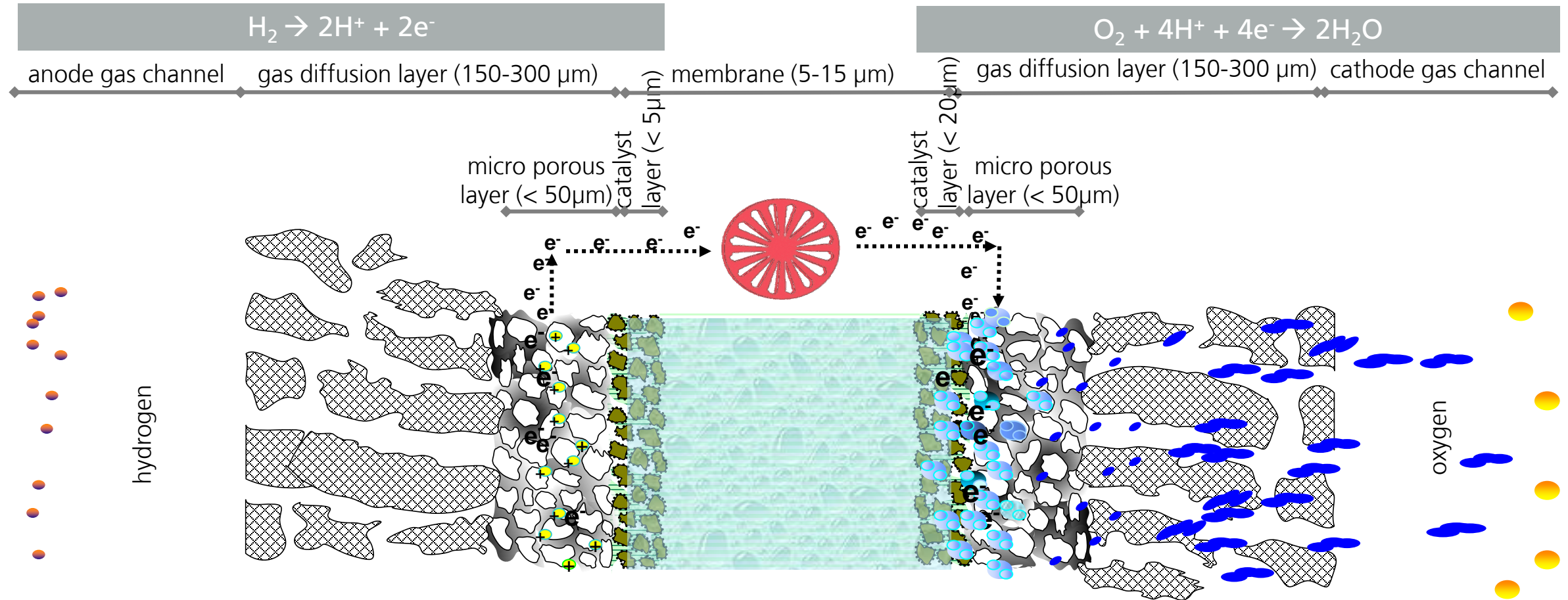


anode gas channel gas diffusion layer (150-300 µm) ≙ membrane (5-15 µm) ≙ gas diffusion layer (150-300 µm) cathode gas channel



Das Funktionsprinzip einer Polymerelektrolytmembran – Brennstoffzelle PEM

Elektrochemische Prozesse wandeln die Reaktionsgase in elektrische Energie



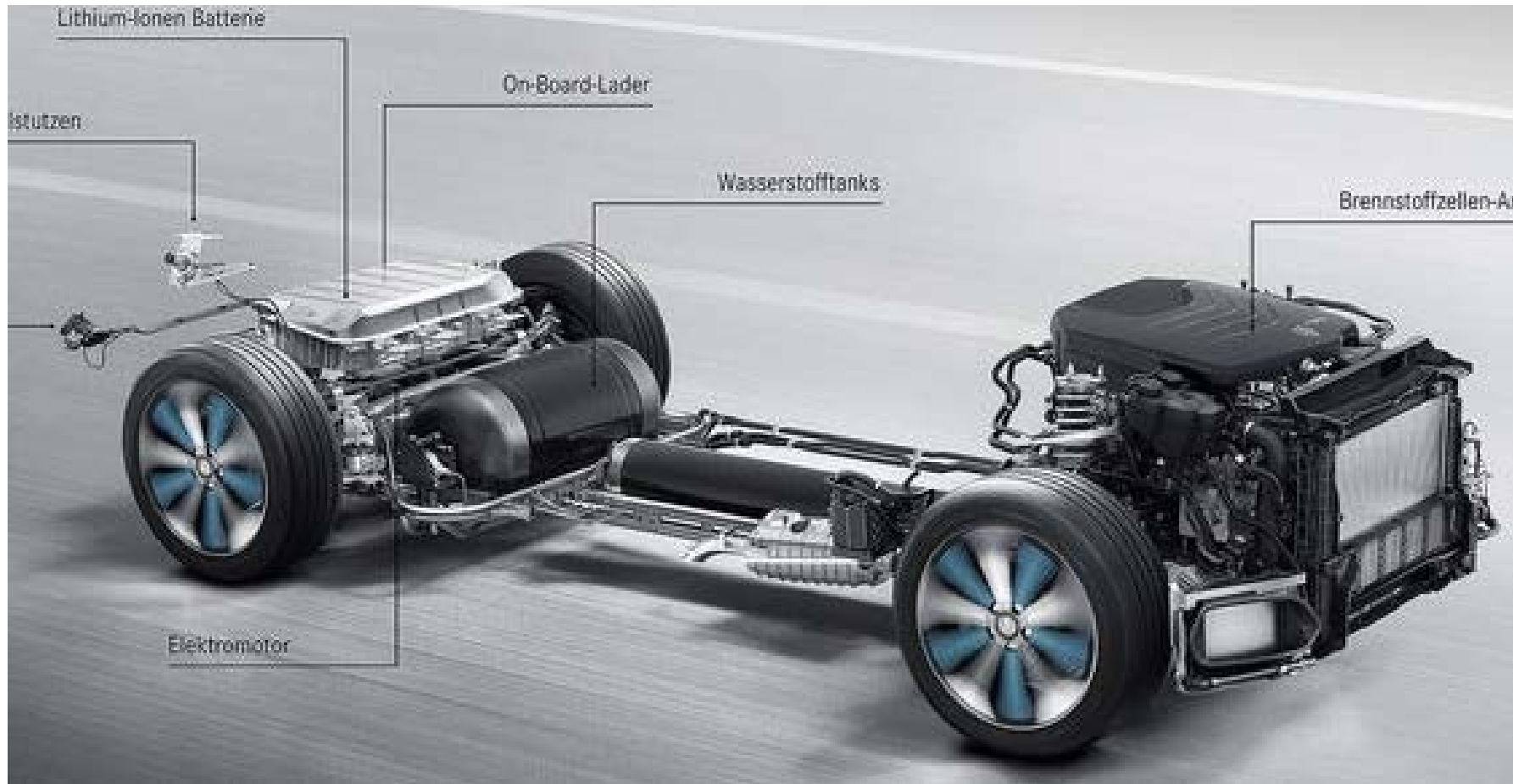
Systemtechnik eines PEM-Brennstoffzellensystems



Brennstoffzellenantriebs-Aggregat von Daimler

Brennstoffzellensysteme in Fahrzeugen

Fahrzeugintegration in bestehende Plattformen



<https://imgr3.auto-motor-und-sport.de/Mercedes-GLC-F-CELL--fotoshowBig-b455bc63-1116534.jpg>

Der Hyundai NEXO



<https://www.auto-motor-und-sport.de/fahrbericht/hyundai-nexo-fahrbericht-preis-marktstart-brennstoffzelle-wasserstoff/>; Download Sep 28, 2018



Wasserstoffbetriebene Antriebssysteme



Quelle: Van Hool

25.000 Brennstoffzellen-Gabelstaber im Einsatz



Quelle: Van Hool

China: 5000 BZ-Busse Jahresproduktion geplant



Quelle: Hyundai

Bis 2030 Produktion von 700.000 Fahrzeugen/a geplant



Quelle: Alstom

CORADIA iLint BZ-Zug seit 2018 im täglichen Betrieb, hohes Interesse



Quelle: Nikola Motor

Nikola Motor, 448 Elektrolyseure von NEL beauftragt
Hyundai Motor 2019 mit H2 Energy 1600 BZ-LKW i.d.Schweiz



Quelle: Hyundai Motor



Quelle: ZeFF

Maritim Anwendung:
Projekt ZeFF - Zero Emission
Fast Ferry in Norwegen



Quelle: Wilhelmsen

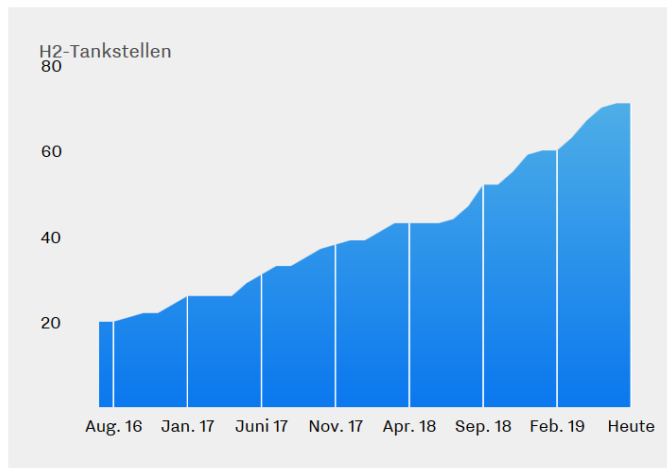
Wasserstofftransport: Design
eines 9.000 m³ LH₂ Bunkerschiffs

Entwicklung der Tankstellen-Infrastruktur

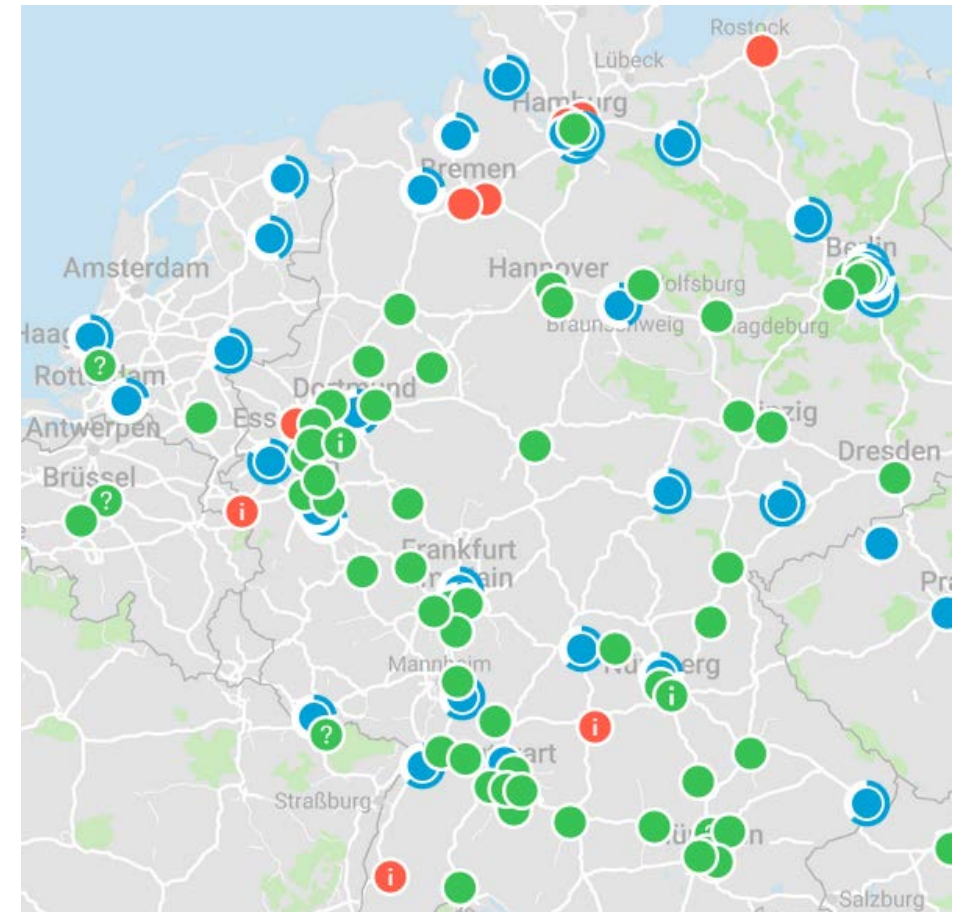
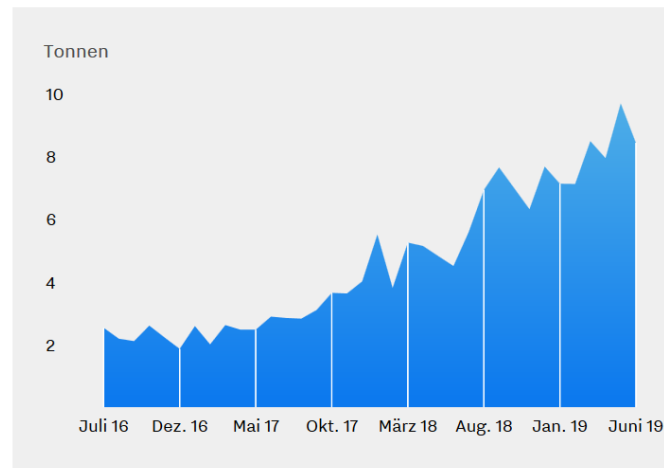
Etwa 100 H₂-Tankstellen bis anfangs 2020 in Deutschland (<https://h2.live/>)

- Die Energiewende benötigt Wasserstoff
- Nutzung als Kraftstoff betriebswirtschaftlich interessant
- 3 min. Tankzeit für 500 km Reichweite
- Die Infrastruktur für Massenmobilität ist kosteneffizient

Aktuell: 71 eröffnete H₂-Tankstellen
in Deutschland



Wasserstoffnachfrage
in Deutschland



Wasserstoffspeicher

Erdgas-Röhrenspeicher in Volketswil, Schweiz

- 22 Röhren
- $L = 250 \text{ m}$ Länge
- $\varnothing = 1.5 \text{ m}$
- $V = 10,000 \text{ m}^3$
- $p = 70 \text{ bar}$
- $\sim 710.000 \text{ Nm}^3$
Erdgas gespeichert

→ **~ 2 GWh** Speicherkapazität
falls mit Wasserstoff befüllt



Construction of the pipe storage facility
in Volketswil (2003)

Erdgas-Röhrenspeicher in Volketswil, Schweiz



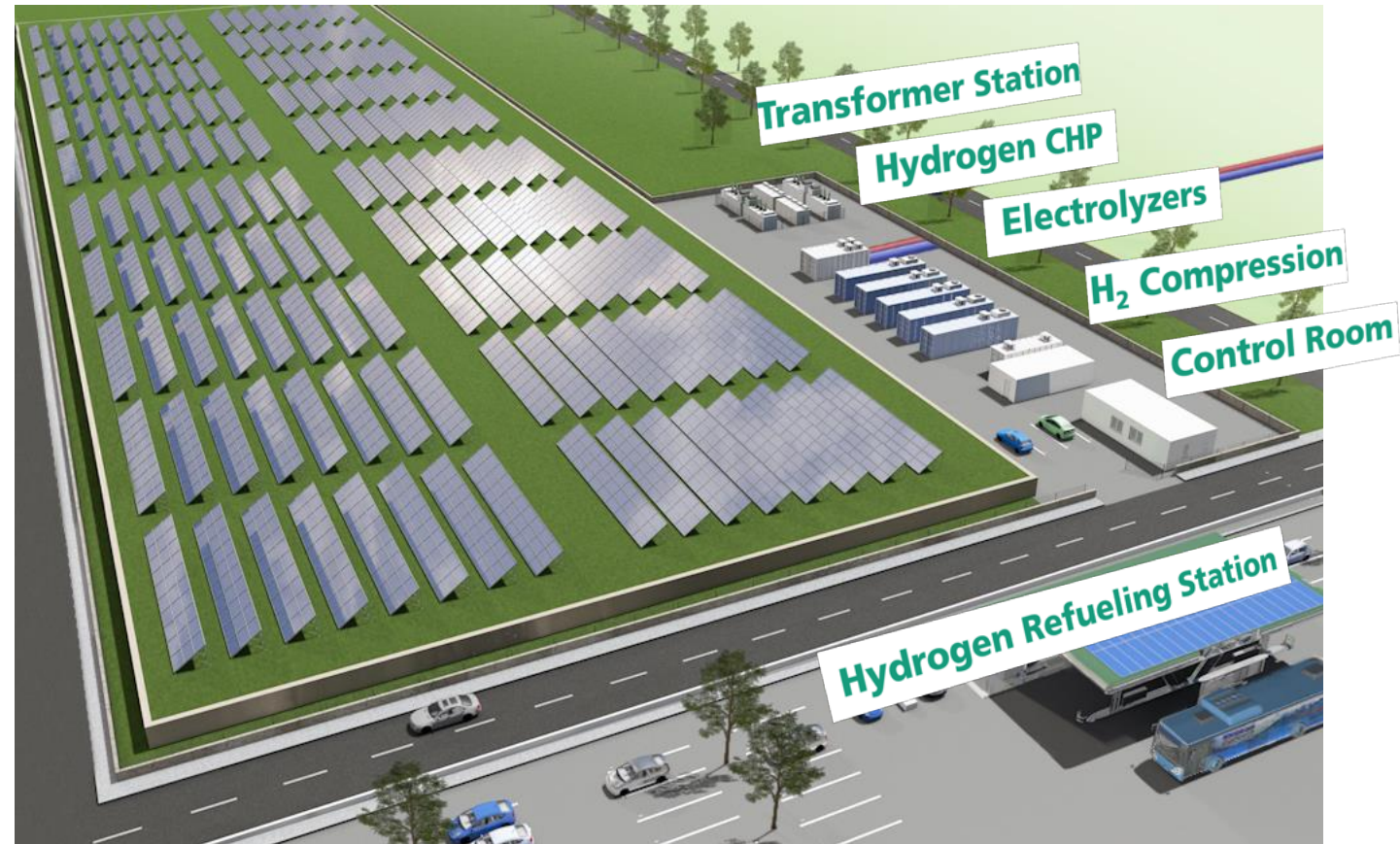
Lokale Wasserstoffherzeugung und -Speicherung

- Konzept für eine lokale Wasserstoffherzeugung aus PV-Strom zur Versorgung einer Wasserstofftankstelle
- Wasserstoffproduktion und Speicherung für 25.000 Autos (14.000 km/Jahr) oder für 280 Busse (1.750 km/Woche)



Lokale Wasserstoffherzeugung und -Speicherung

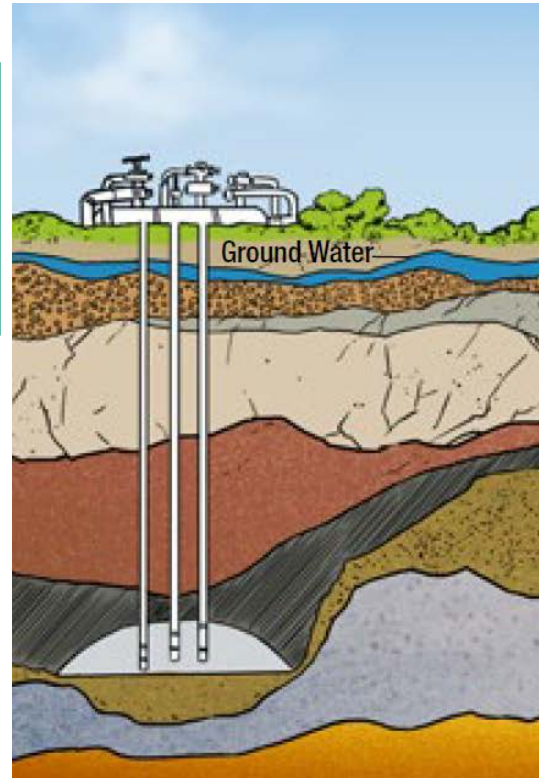
- Konzept für eine lokale Wasserstoffherzeugung aus PV-Strom zur Versorgung einer Wasserstofftankstelle
- Wasserstoffproduktion und Speicherung für 25.000 Autos (14.000 km/Jahr) oder für 280 Busse (1.750 km/Woche)



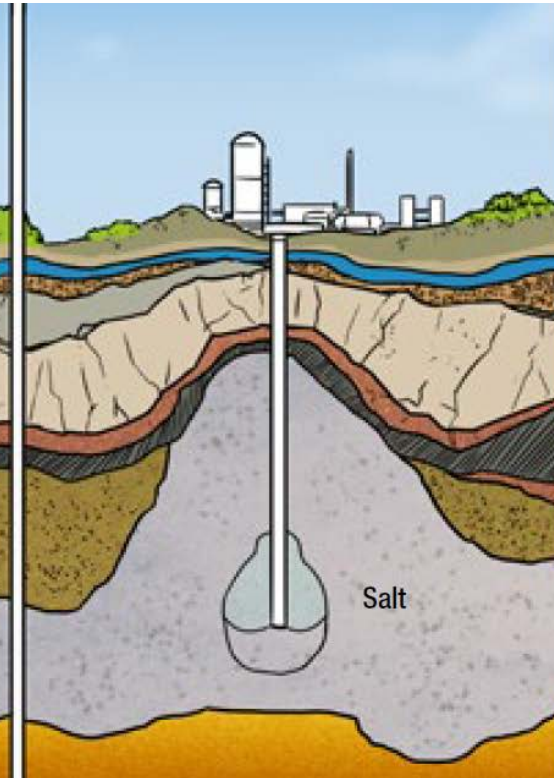
Untergrundspeicher – Stand der Technik

- 51 Untertage-Erdgas-Speicherfelder in Deutschland
 - 24.6 Mio m³ Erdgasspeicher (240 TWh)
 - 28% des deutschen Jahresverbrauchs
- 23,6 Mio t Untertage-Ölspeicher (270 TWh)
 - 15% des deutschen Jahresverbrauchs
- 170 Salzkavernenspeicher (für Wasserstoff geeignet)

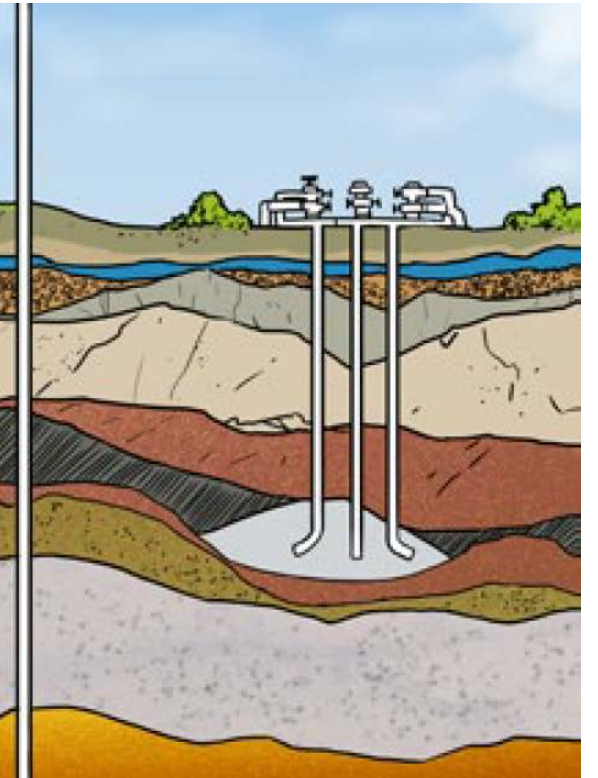
Frühere Gas- oder Erdöllagerstätten



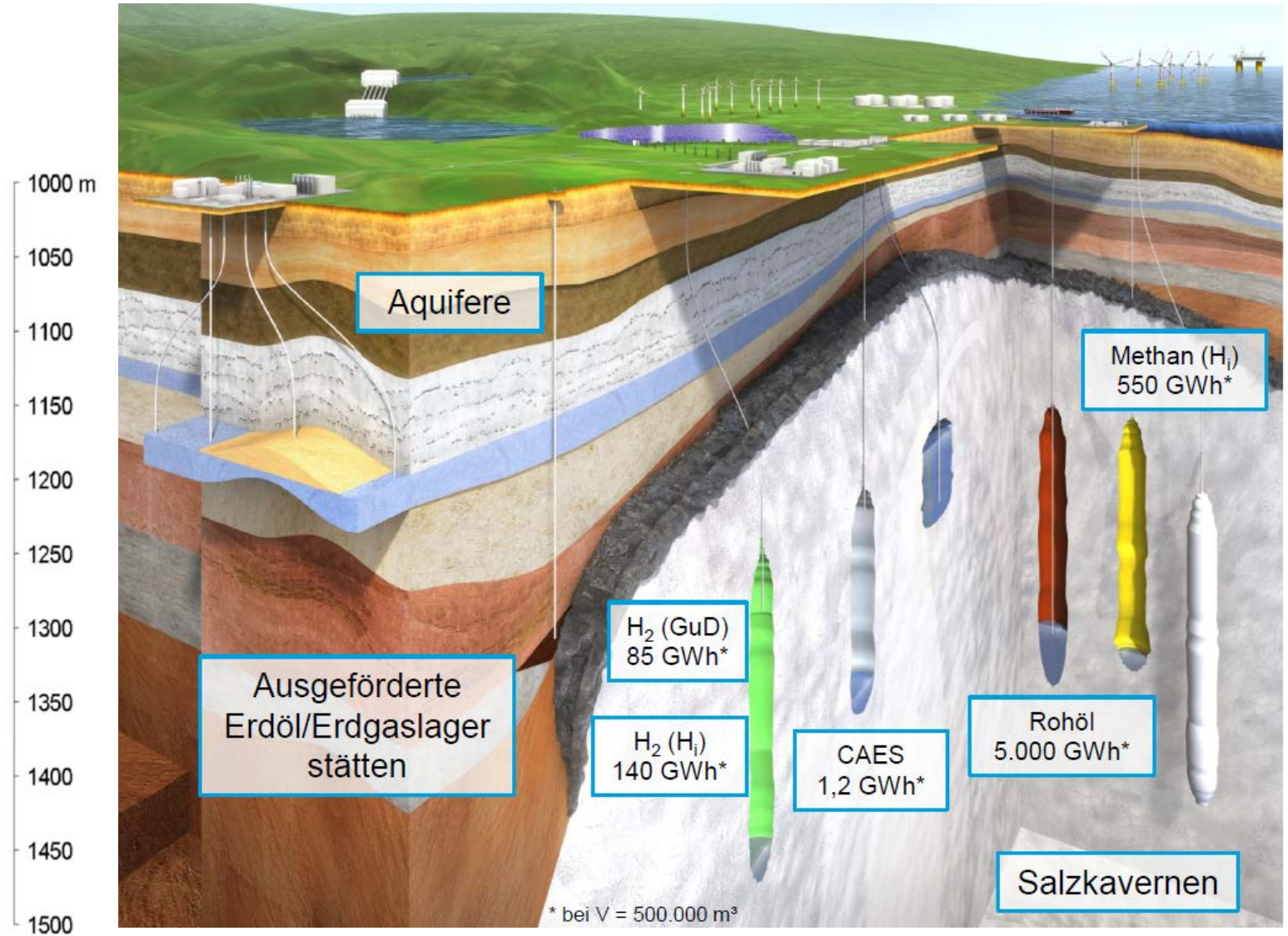
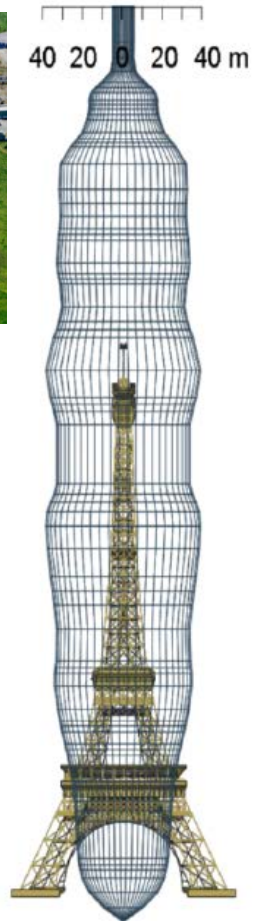
Kavernenspeicher



Natürliche Porenspeicher



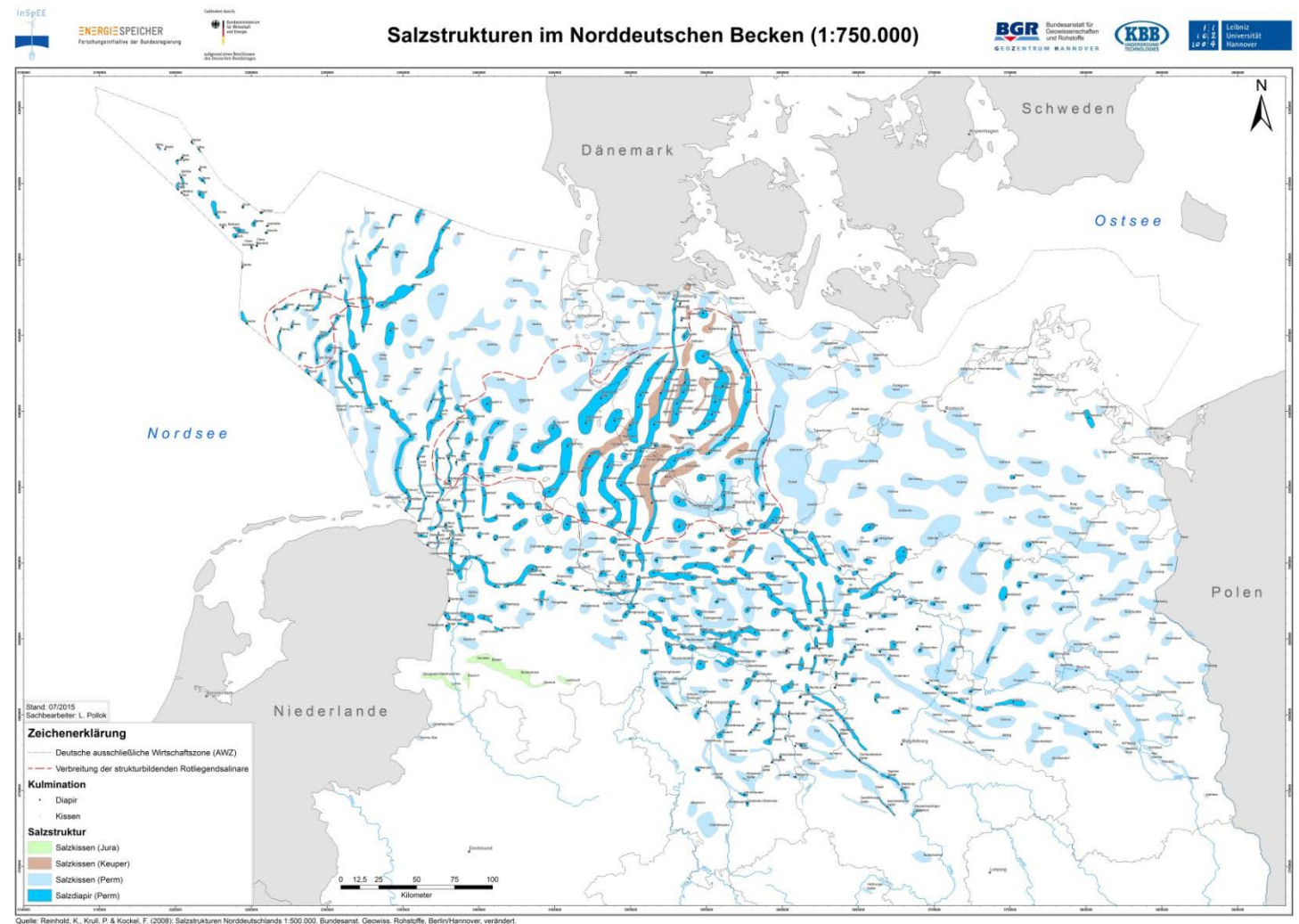
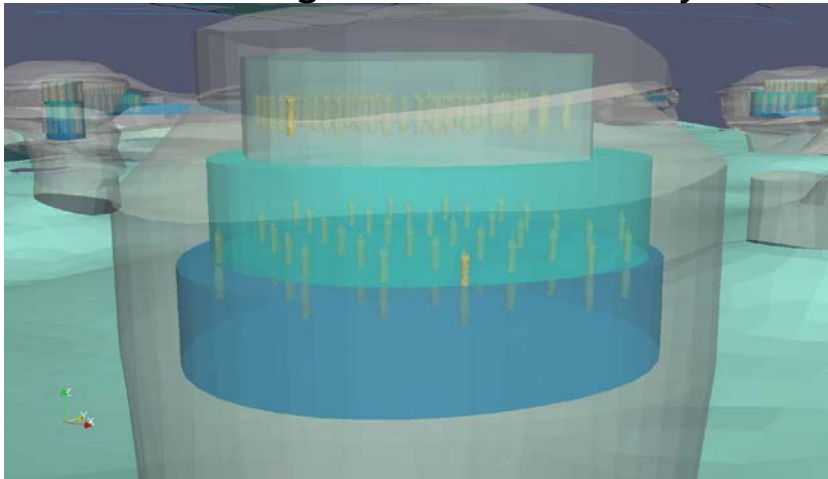
Kavernenspeicher für Wasserstoff



Potentialabschätzung der norddeutschen Salzstrukturen

Ca. 270 zur Wasserstoff- oder Druckluftspeicherung geeignete Salzstrukturen

Für Kavernenbau geeignete Steinsalzbereiche und Anordnung Modellkavernenzylinder



Speicherpotenzial in Norddeutschland InSpEE

Informationssystem Salzstrukturen: Planungsgrundlagen, Auswahlkriterien und Potentialabschätzung für die Errichtung von Salzkavernen zur Speicherung von Erneuerbaren Energien (Wasserstoff und Druckluft)



	Ausgewertete Strukturen [-]	CAES [TWh]	H2 [TWh]
Gesamt	269	4,5	1.614
Berlin / Brandenburg	24	0,5	159
Bremen / Niedersachsen	160	2,0	702
Hamburg / Schleswig-Holstein	44	0,7	413
Mecklenburg-Vorpommern	9	0,6	193
Sachsen-Anhalt	32	0,8	147

Chancen der Wasserstofftechnologien

Wasserstoff im Kontext der Sektorenkopplung

- Die Substitution der Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien erfordert ein **effizientes und flexibles Energiesystem, welches über alle Sektoren integriert ist.**
- Ausgangspunkt als **Kopplungselement** zwischen dem Direktstrommarkt und den nachfolgenden Sektoren Wärme, Verkehr und Chemie ist die **Wasserelektrolyse.**
- Die ambitionierten **Klimaschutzziele sind nur mit synthetischen Brenn- und Kraftstoffen erreichbar**, Elektrolyse muss in den 2020ern in Deutschland in die GW – Größenordnung vordringen
- Insbesondere die **Speicherung von großen Energiemengen** über lange Zeiträume und der Transport solcher Energiemengen über weite Distanzen limitieren den Einsatz von Direktstrom.
- Die Nutzung von **PtX im Energiesystem bietet die notwendige Flexibilität**, um eine effiziente Verwertung von produzierter erneuerbarer Energie sicherzustellen.
- Diese Flexibilitätsoption kann den Ausbau der erneuerbaren Energieanlagen an Stellen unterstützen, wo er durch **langsamen Netzausbau oder begrenzte Netzkapazitäten** gebremst wird.
- **Lock-in Effekte** (Pfadabhängigkeiten) und **zu starke Fokussierung auf den Stromsektor** bzw. Batterietechnologien können H2 national gefährden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

christopher.hebling@ise.fraunhofer.de, www.ise.fraunhofer.de