

Warum bleiben wir nicht einfach batterieelektrisch.....?

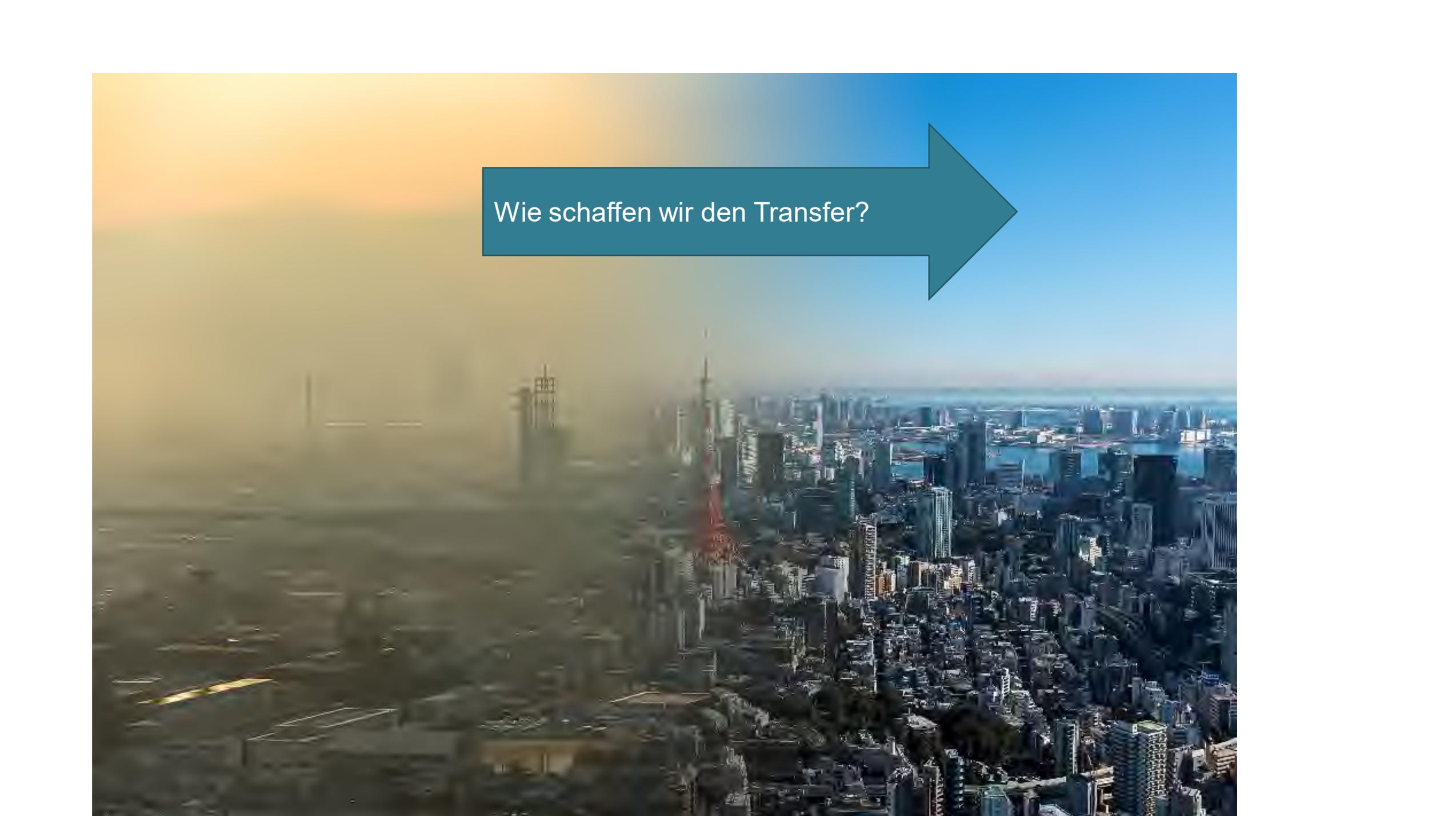
Birgit Scheppat

EKONMONMKK Juni 2023

COP 21 PARIS

Auf der „**Pariser Klimakonferenz**“ (**COP 21**) im Jahr 2015 einigte sich die Staatengemeinschaft erstmals **völkerrechtlich verbindlich** darauf, die Erderwärmung auf **deutlich unter 2 °C** gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Darüber hinaus sollen sich die Staaten **bemühen**, den Temperaturanstieg unter 1,5 °C zu halten, um die verheerendsten absehbaren Folgen des Klimawandels zu verhindern. Sobald wie möglich muss deshalb der globale Scheitelpunkt der Emissionen erreicht werden mit anschließend drastisch sinkenden Emissionen. Außerdem muss in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts Treibhausgasneutralität erreicht werden.

Dafür soll an **erster Stelle** durch die **Dekarbonisierung** unserer **Wirtschafts- und Lebensweise** der Ausstoß von Treibhausgasemissionen drastisch gesenkt werden. Zusätzlich sollen natürliche Kohlenstoffsinken, wie Wälder oder Moore, die Treibhausgase aus der **Atmosphäre** binden, erhalten und gestärkt werden. Weitere Ziele sind, die Fähigkeiten der Länder beim Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels zu stärken (Anpassung) und die Umlenkung der Finanzströme hin zu einer Wirtschaftsweise mit niedrigen Treibhausgasemissionen und nachhaltiger Entwicklung zu gewährleisten.

An aerial photograph of a city skyline, likely Tokyo, featuring the Tokyo Tower in the center. The image is overlaid with a teal arrow pointing to the right, which contains the text 'Wie schaffen wir den Transfer?'. The background shows a dense urban landscape with various buildings and a body of water in the distance.

Wie schaffen wir den Transfer?

Welche Fragen sind zu stellen?

Muss das bestehende Energiesystem geändert werden?

Ja - **Dekarbonisierung** ist notwendig. Um Treibhausgase u. Temperaturanstieg zu vermeiden.

Welche Ansätze braucht es dazu? Nutzung von **Erneuerbarer Energie** und der

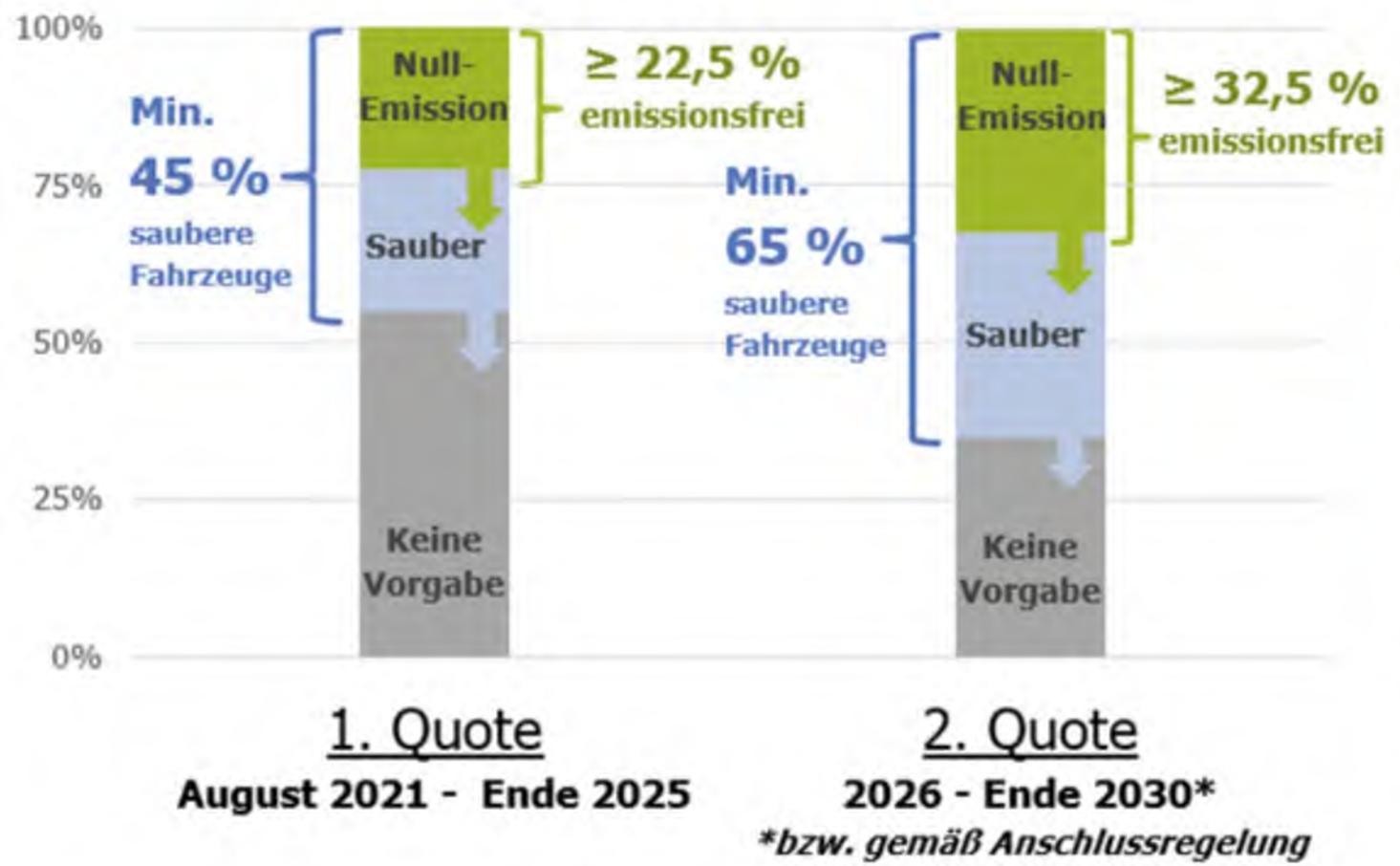
Umstieg/Umbau von einer kraftstrombasierten in eine strombasierte Industriegesellschaft?

Und wie?

Es braucht **systemische Ansätze** (regional, national, europäisch), die lokale Gegebenheiten energieeffizient nutzen, ressourceneffizient (Rohstoffe) „handeln“, soziale Teilhabe zulassen und eingebettet sind in das Ziel die Bedürfnisse im Verkehr, der Industrie und im Gebäudebestand zu erfüllen.

Was bedeutet das für den Verkehr?

– Clean Vehicle Directive



- Emissionsfreie Busse:**
- Nur rein elektrische Busse
 - Trolleybus
 - Batteriebus
 - Brennstoffzellenbus

- Saubere Fahrzeuge:**
- Rein elektrische Busse
 - Plug-In Hybridbusse
 - Gasbusse
 - Busse mit ausschließlicher Nutzung von Bio- und synthetischen Kraftstoffen unter bestimmten Bedingungen

Durchschnitt aller Beschaffungen auf nationaler Ebene während der mehrjährigen Periode

Quelle: <https://www.kcw-online.de/veroeffentlichungen/die-neue-clean-vehicles-directive>

Erneuerbarer Strom und dann??

Welche Fahrzeugklasse?

Leichte Nutzfahrzeuge
Mittlere Nutzfahrzeuge
Schwerlast

Einsatzzweck
(Fahrmuster)

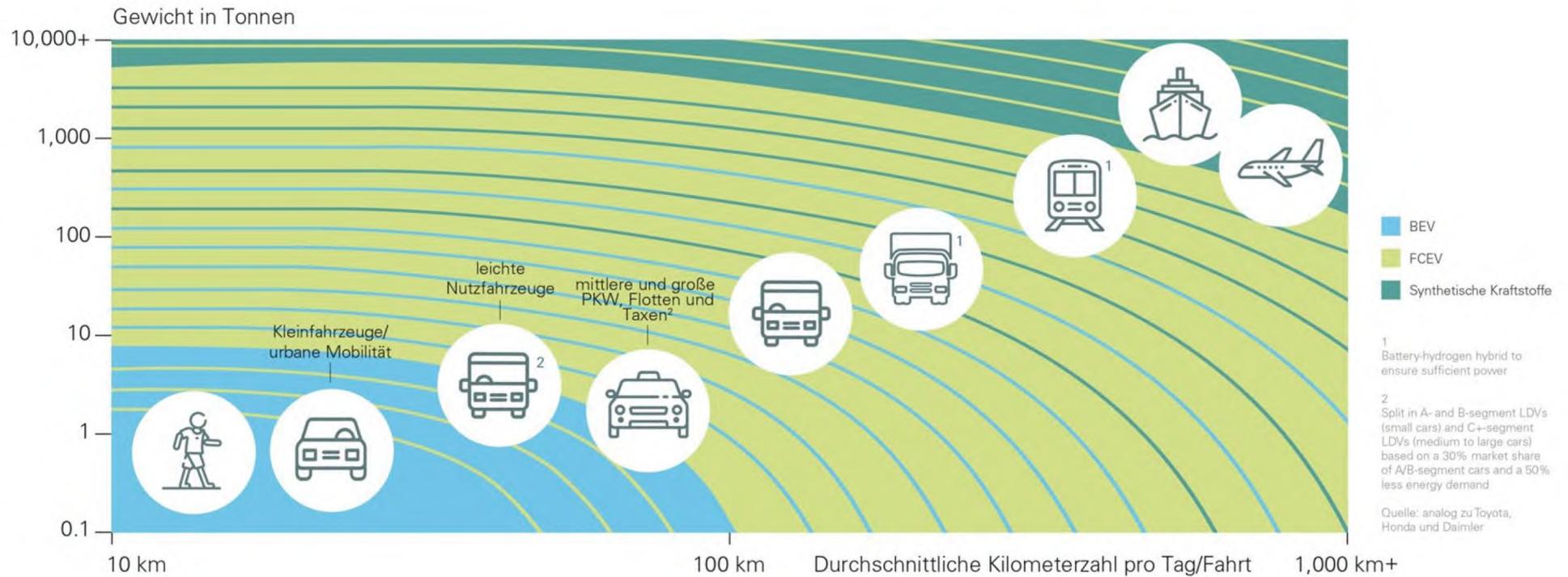
Welche tägliche Strecke wird gefahren?
Wie oft wird gehalten?
Wie ist die lokale Topografie?
Sommer-/Winterbetrieb?
Menschen oder Waren,
Abfall oder Reststoffe?

Wartung Werkstatt
Aftersales

Infrastruktur?
Betanken/Befüllen/Laden/Oberleitung
Parken

Wie oft muss betankt/geladen werden
Bestehen die räumlichen Anforderungen
bzgl. Laden, Sicherheit?
Wieviel Ersatzfahrzeuge?
Eigene Infrastruktur?
Eigene Erzeugungsanlagen für „grünen“
Strom/ Elektrolyseur Pipeline?

Vielfalt der Antriebsarten



Ab einer Strecke von > 250 km spricht vieles für eine Wasserstofflösung



While multiple alternative powertrain options exist, FCH offer a 0-emission alternative with operational and payload flexibility

High-level comparison of powertrain technology portfolio for HDT

	Reference		Project focus			
	Fossil powertrains				Zero emission ¹	Catenary / Trolley
	Diesel	LNG/CNG	e-fuels	Battery-electric	Fuel Cell-electric	Catenary / Trolley
Description	 Combustion engine powered by diesel	 Combustion engine powered by LNG/CNG	 Combustion engine powered by e-diesel	 Electric motor powered by chem. stored energy in a rechargeable battery	 Electric motor powered by a fuel cell, combined with a battery	 Electric motor powered by DC from overhead lines using a pantograph
Strengths	<ul style="list-style-type: none"> > Established technology with widespread infrastructure > Long daily driving ranges 	<ul style="list-style-type: none"> > Fuel cost advantage compared to diesel > Lower particulate emissions than diesel 	<ul style="list-style-type: none"> > Use of existing infrastructure > Use of existing HDT combustion engines 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET 	<ul style="list-style-type: none"> > Charging while driving, i.e. no stops needed > Smaller batteries and good CO₂ footprint
Potential constraints	<ul style="list-style-type: none"> > CO₂ and NO_x emissions and related regulation 	<ul style="list-style-type: none"> > Infrastructure availability > Limited emission reduction potential > Relatively low fuel efficiency (~25%) 	<ul style="list-style-type: none"> > Production cost not on competitive level: ~3.5 x diesel price > Remaining local emissions (e.g. NO_x) > CO₂ sourcing 	<ul style="list-style-type: none"> > Cost, size and weight of batteries > Range limitations > Recharging time and space required > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Production cost of H₂ > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Limited flexibility of routes > Early development stage

1) With primary energy derived from renewable sources  Remaining local emissions

WAS TUT SICH BEI DEN ETABLIERTEN?

DAF 2023

- Batterie-e-Lkw (rechts oben)
- Wasserstoff-e-Lkw (rechts unten)
- Hybrid-Lkw (unten)



Quelle: www.daf.com



Quelle: www.daf.fr



Quelle: www.daf.at

WAS TUT SICH BEI DEN ETABLIERTEN?

IVECO (mit Nikola) (2023)

- Batterie-e-Lkw (rechts unten)
- Wasserstoff-e-Lkw (unten)
- Hybrid-Lkw Eurocargo (rechts oben)



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain



Quelle: www.fuelcellworks.com

Quelle Manfred Loidold, mit freundlicher Genehmigung



Quelle: transportelatine.net



Quelle: www.verkehrsrundschau.de; ©Foto Iveco Trucks

While multiple alternative powertrain options exist, FCH offer a 0 emission alternative with operational and payload flexibility

High-level comparison of powertrain technology portfolio

Reference		Fossil powertrains		Electric powertrains	
Diesel	LNG/CNG	Fuel cell electric vehicle (FCEV)	Battery electric vehicle (BEV)	Plug-in electric vehicle (PHEV)	Overhead line electric vehicle (OLEV)
<ul style="list-style-type: none"> > Infrastructure availability > Limited emission reduction potential > Relatively low fuel efficiency (~25%) 	<ul style="list-style-type: none"> > Production cost not on competitive level: ~3.5 x diesel price > Remaining local emissions (e.g. NO_x) > CO₂ sourcing 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Cost, size and weight of batteries > Range limitations > Recharging time and space required > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Production cost of H₂ > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Charging while driving, i.e. no stops needed > Smaller batteries and good CO₂ footprint > Availability of infrastructure > Limited flexibility of routes > Early development stage

1) With primary energy derived from renewable sources Remaining local emissions

Source: Desk research; Roland Berger

Wasserstoffelektrische und batterieelektrische Fahrzeuge unterscheiden sich nur durch die Energievorhaltung. Die Leistungselektronik und die anderen Komponenten des Powertrains können identisch sein. Beide Technologien werden gebraucht – angepasst an den jeweiligen Bedarfsfall. Vorteil Brennstoffzellenfahrzeug der Energievorrat wird extern gespeichert. Befüllen ähnlich wie bei Dieselfahrzeugen

DA GAB ES DOCH EIN PAAR FAKTEN.....

Strom ist viel effizienter? Stimmt für das Langsamladen Effizienz >85 %, z.B. Laden über Nacht
Stimmt nicht für Schnellladen Effizienz <60 % plus Schädigung der Batterie (Temperatur)

Elektrisch gar kein Problem – es muss nur Infrastruktur gebaut werden?

Von 14.000km benötigten Leitungen sind 2300 km gebaut
(Suedlink wird 2028 fertig, BW braucht 3 Leitungen mehr)

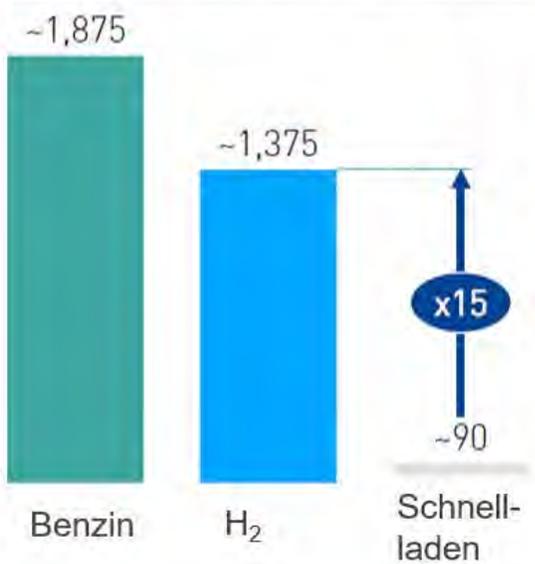
Die Fläche pro Lkw die vorgehalten werden muss zum Laden ca.
1,5 mal die normale Parkfläche - Brandgefahr,
in Deutschland fehlen rund 40.000 LKW-Parkplätze

Ladezeit 0,5 bis 0,45 Stunden pro Ladepunkt 2 Fahrzeuge bei einer
Leistung von 50 -200 kW Ladevorgang 2 Stunden bzw. 0,5 Stunden Standzeiten

Frage: Wer ist langfristig für diese Ladeinfrastruktur verantwortlich? Die Bürger?

AUSWIRKUNGEN DER BETANKUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF RAUMBEDARF UND INVESTITIONEN

Geschwindigkeit beim Tanken
Km / 15 min Betankungsdauer



Wasserstoff tanken ist **15x schneller** als Schnellladen

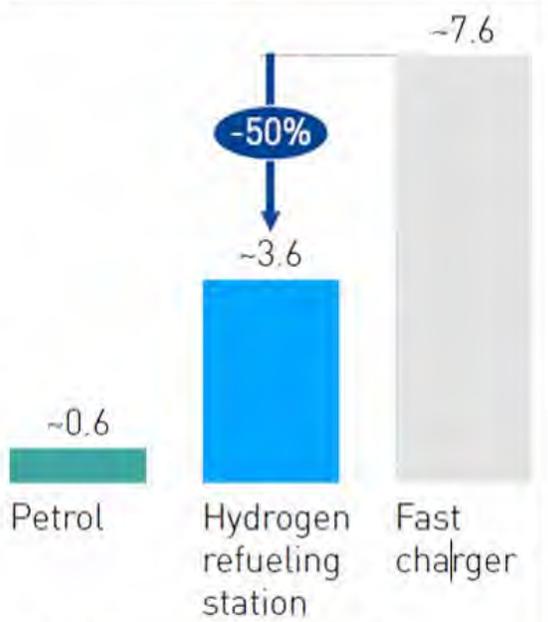
Raumbedarf

~ 8 MW Stromleitung werden benötigt für die Spitzenlast von 60 Schnellladestationen. Wasserstoff hingegen kann flexibel regenerative Energie nutzen.



1 H₂-Tankstelle mit 4 Anschlüssen ersetzt 60 Schnellladestationen

Investitionskosten pro Betankung
€ / Betankung



Die Investitionskosten für Wasserstoffbetankung sind **halb so groß** wie für Schnellladen

Assumptions: Average mileage of passenger car = 24,000 km; number of PCs in EU in 2050 = 180 million; ICE: range = 750 km/refueling, refueling time = 3 minutes; FCEV: range = 600 km/refueling, refueling time = 5 minutes, fast charger = 1,080 km²; BEV: range = 470 km/refueling, refueling time = 75 min, gas station = 1,080 m²; WACC 6%, fast charger: hardware = USD 100,000, grid connection = USD 50,000, installation costs = USD 50,000, lifetime = 10 years; HRS: capex (1,000 kg daily) = EUR 2,590,000, lifetime = 20 years, refueling demand/car = 5 kg, gas: capex = EUR 225,750, lifetime = 30 years, 1 pole per station

Quelle: FCH2JU - Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking; Hydrogen Roadmap Europe 2019 [übersetzt]

QUANTRON WITH FULL RANGE VEHICLE PORTFOLIO



100% zero emission since inception

BEV & FCEV: the right technology for individual use case requirements



FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q2/2023
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(6x2 28t)

BEV
Available TODAY
(4x2 44t / 6x2 65t)

FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q3/2023
(4x2 44t / 6x2 65t)

BEV
Available TODAY
(12m low floor, city)

FCEV
Available on demand
(12m low floor, city)

BEV
Available TODAY
(4.25t)

FCEV
Available Q1/2024
(to follow)

QUANTRON WITH FULL RANGE VEHICLE PORTFOLIO



100% zero emission since inception

BEV & FCEV: the right technology for individual use case requirements



FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q2/2023
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(6x2 28t)

BEV
Available TODAY
(4x2 44t / 6x2 65t)

FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q3/2023
(4x2 44t / 6x2 65t)

BEV
Available TODAY
(12m low floor, city)

FCEV
Available on demand
(12m low floor, city)

BEV
Available TODAY
(4.25t)

FCEV
Available Q1/2024
(to follow)

OUR TECHNOLOGY LEADERSHIP SHOWCASED BY THE QHM FCEV AERO



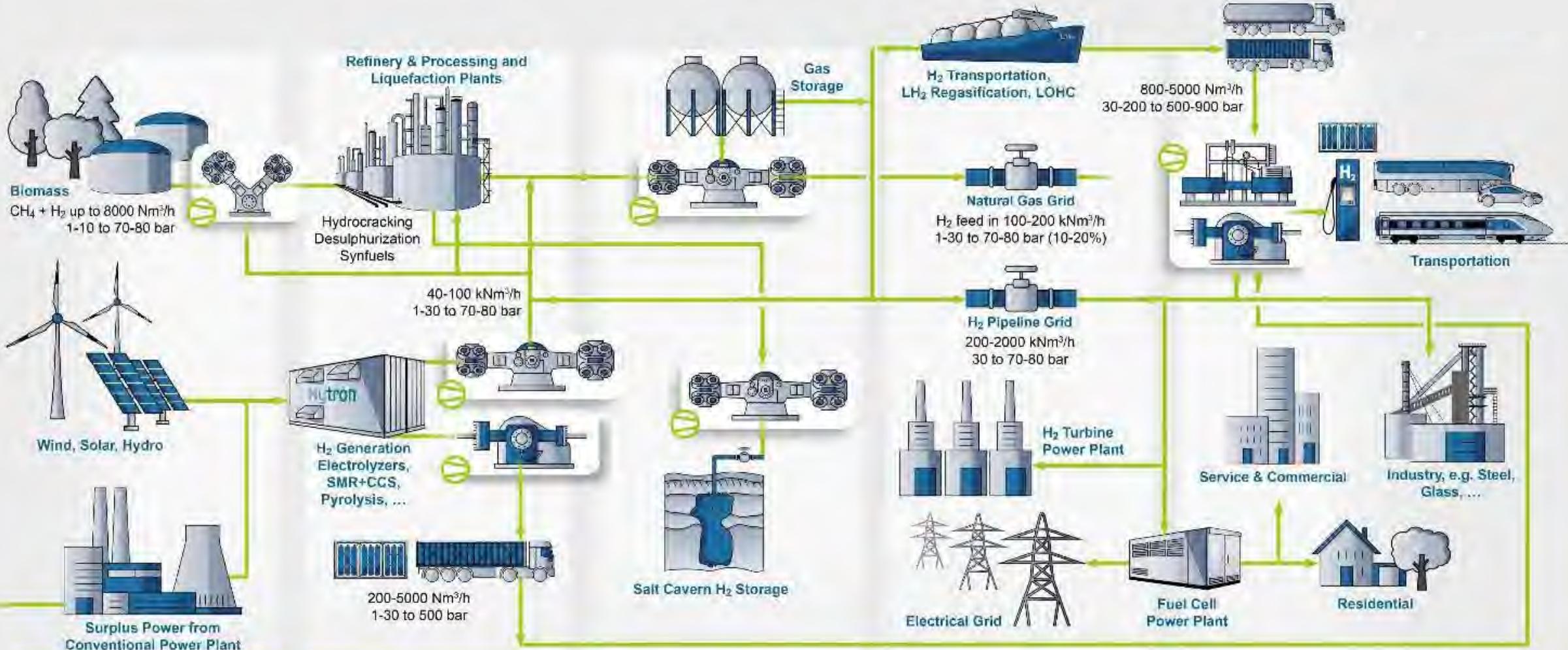
- All components **fully chassis-integrated** – no H₂ backpack
- First and only FCEV tractor in EU that **requires no special approvals** for on-road use
- **Best-in-class real range** of 600-700 km (up to 1500 km possible in Nordics version) 🇸🇪
- **Same payload capability** as diesel tractors
- Further **20% drag reduction** with Aero Package



DIE HERAUSFORDERUNG IM MOBILITÄTSSEKTOR

- Um kurzfristig ein hohes Maß an Dekarbonisierung in der Mobilität zu erreichen, muss neben dem Aufbau von Elektroladeinfrastrukturen auch der Aufbau von Wasserstoffinfrastrukturen inklusive Wasserstoffversorgung konzipiert werden. Um die Pariser Klimaziele zu erreichen, ist dies kein **Add-on**, sondern ein **Sowohl-als-auch**.
- Die Herausforderung, die Mobilität mit Strom aus erneuerbaren Energien zu versorgen, wäre der Bau von **12 Hochstrom-Gleichstromleitungen** - 1 ist derzeit in Planung (Inbetriebnahme 2028) - aus Norddeutschland, wo Wasserstoff bereits in großem Umfang produziert wird, **oder eine Wasserstoff-Pipeline** bzw. die Umrüstung einer bestehenden Erdgasleitung **mit 60 cm Durchmesser** für den Strom- und Kraftstoffbedarf.
- Wasserstofftankstellen **und** „Mega“charger, insbesondere für den Schwerlastverkehr sind nicht ausreichend vorhanden.

HYDROGEN – KEYSTONE OF THE SOLUTION FOR THE VOLATILITY, STORAGE AND TRANSPORTATION CHALLENGES



Primary Energy

Conversion & Processing

Storage

Transport & Distribution

Final Energy Demand

Planned H2 pipeline infrastructure for large-scale connection of Europe and the Hessian region



The European Hydrogen Backbone Initiative aims to have about 6,000 km by 2030, 2035 about 26,100 km and by 2040 53,000 km of H2 pipelines across Europe.



Growing network covers more countries and reaches large potential import regions of green hydrogen in 2035

Quelle:
Extending the
 European Hydrogen Backbone
 April 2021

... die zukünftige Perspektive

- Lösungen müssen **systemisch** und **pragmatisch** sein - auf regionaler, nationaler und europäischer Ebene.
→ Niemand wird gleich ans Ende der Lernkurve springen können.....
- Regionale Gegebenheiten und das ganze Land sind zu betrachten – daraus sollten dann reproduzierbare Module entwickelt werden. ...nicht 16 mal Mache ich auch....
- Lösungen müssen ressourceneffizient unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten entwickelt werden.
- Mobilitätsziele müssen klar definiert werden (Rahmenbedingungen).
- Städtische und ländliche Gebiete sollten getrennt betrachtet werden.
- Technologische Veränderungen sind nur mit großer Anstrengung und unter Inkaufnahme von Rückschlägen zu erreichen - das bedeutet, früh anzufangen und manchmal Umwege in Kauf zu nehmen.....
Es braucht einfach den Mut zum Anfange.....
- Ohne (den heute noch teuren) Wasserstoff wird die Energiewende nicht gelingen...



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Vielen Dank – ich freue mich auf Ihre Fragen.....。

Birgit Scheppat

Hochschule RheinMain

Birgit.Scheppat(@)hs-rm.de Tel. +49 6142 8984536

Warum bleiben wir nicht batterieelektrisch.....

E-Mobilität macht nur Sinn mit Strom aus Sonne und Wind

Der erneuerbare Strom vom Ort der Erzeugung zum Ort des Verbrauches kommen muss

Strom schlecht gespeichert werden kann →
Zeitpunkt Erzeugung und Nutzung auseinander liegen können

Süddeutsche 25.05. Grünes Licht für Bau eines Abschnitts der Südlinktrasse

- Suedlink einsatzbereit 2028(?)
- BW braucht nicht 1 mal Suedlink sondern 4 mal

Es ist die Infrastruktur der „Erneuerbaren“ die zuerst kommen muss!!

Energiepark Mainz – die Gesamtanlage



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain

Windräder 4* 2 MW



Elektrolysehalle



H2-Speicher vor Ort:
26MWh bei 8MPa
oder 26
20-Fuß-Container
mit Lithiumionenbatterien

Einspeisung ins Erdgasnetz

SPEICHERUNG IN GROßEN BATTERIEN Z.B. CLEVER

- Unterstützung des Rüsselsheimer Verteilnetzes mittels stationärer Batterien
- Einsatz von unterschiedlichen Batterietechnologien sowie Erfassen und Auswerten von Betriebsdaten:
 - 1. Vanadium-Redox-Flow-Batterie
→ 200 kW / 475 kWh 26t,
 - 2. Lithium-Ionen-Batterie
→ 704 kW / 675 kWh 9t
- Implementierung einer übergeordneten Steuerung beider Speicher als Hybridsystem.

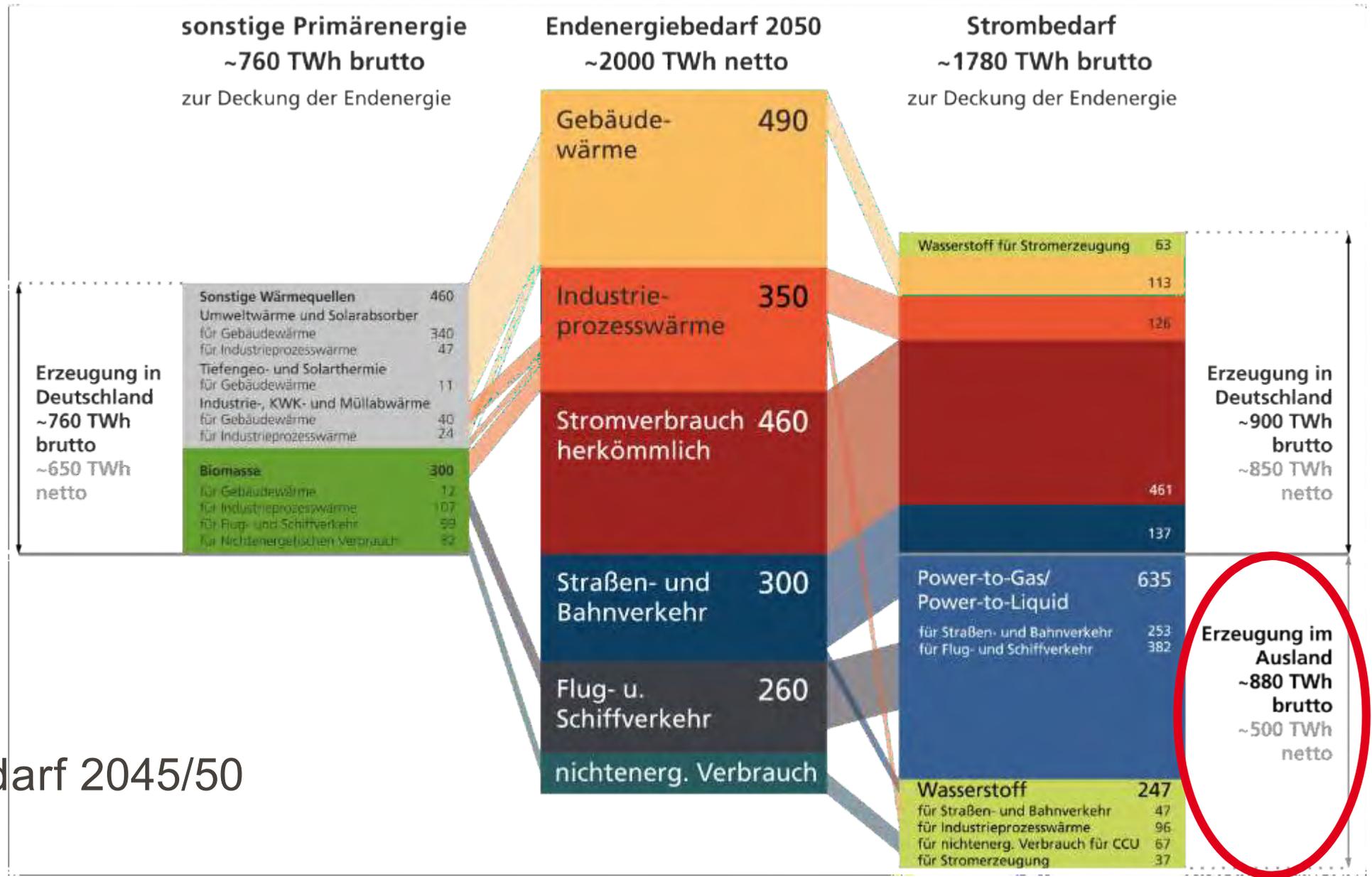


Bild 1: Bestellter Lithium Ionen Speicher



Bild 2: Bestellter Vanadium-Redox-Flow-Speicher

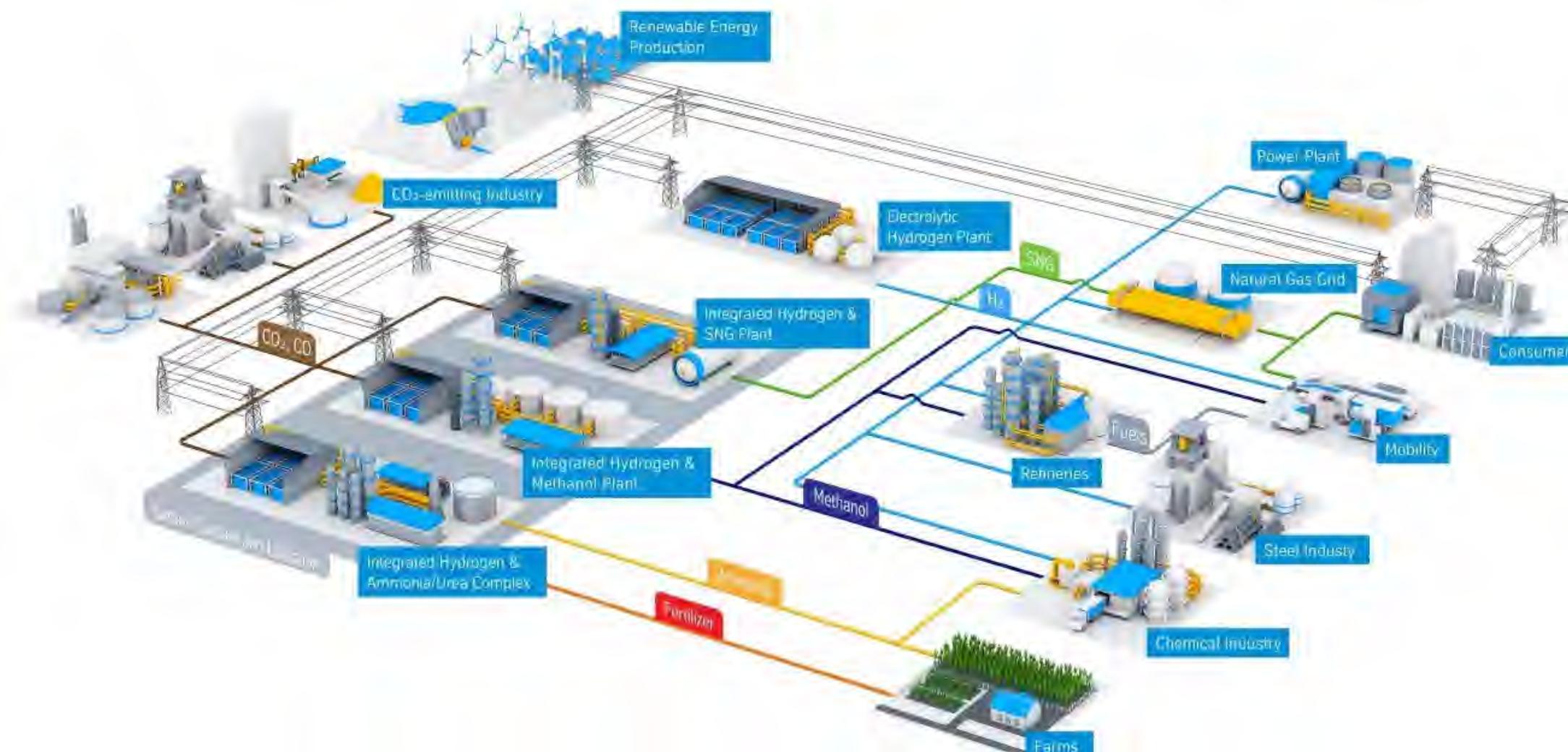
Energiewende Barometer 2020



Endenergiebedarf 2045/50

Sektorenkopplung für grüne Chemikalien z.B. durch Thyssenkrupp

Renewable PtX-Training



Und zum Aufbau der Wasserstoffversorgungskette, aber

Transport via ship
(LH₂, LOHC, MeOH, NH₃)

Import to Rotterdam

~ 11,600 km

Export from Doha

Import

NETHERLANDS

GERMANY

Rotterdam

Inland shipping

Rhein (570 km)

BELGIUM

Neckar (180 km)

Stuttgart

50 km
trucking

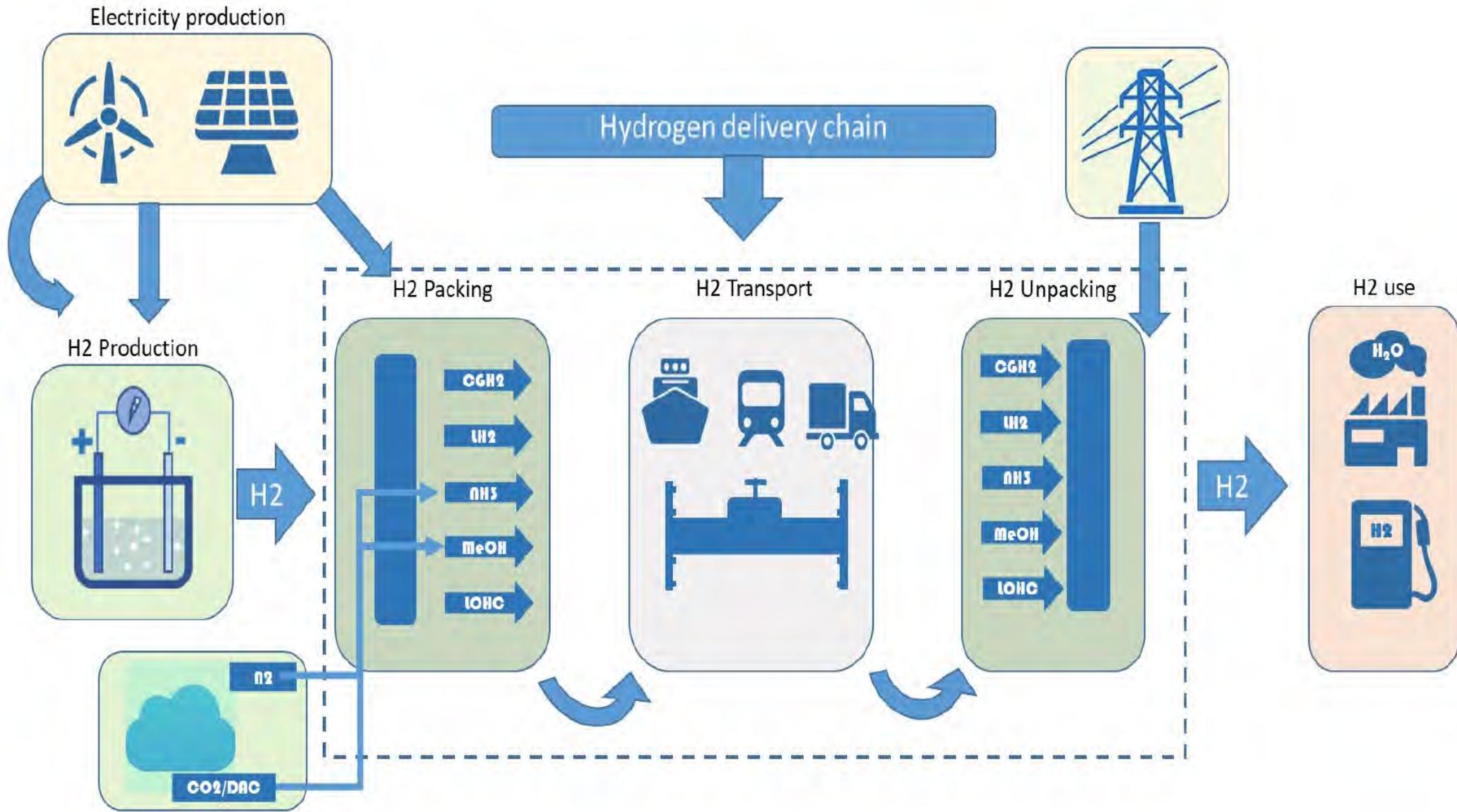
Re-
conditioning

Large-scale HRS
for HDV

Indicative year: 2035

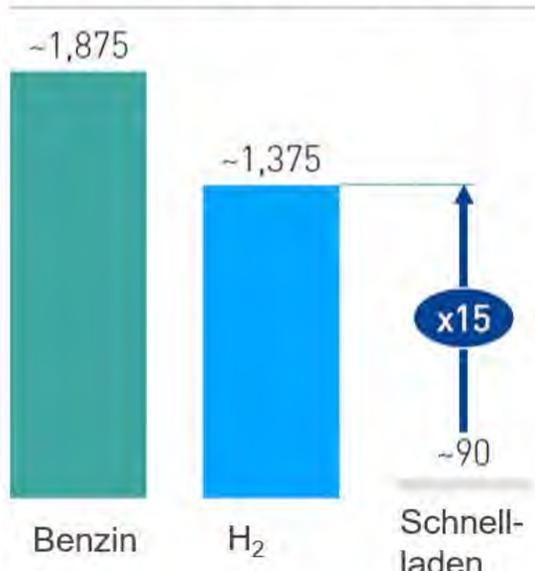
6/15/2023

Mit freundlicher Genehmigung Rainer Wurster, LBST Qatar Mai 2022



AUSWIRKUNGEN DER BETANKUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF RAUMBEDARF UND INVESTITIONEN

Geschwindigkeit beim Tanken
Km / 15 min Betankungsdauer

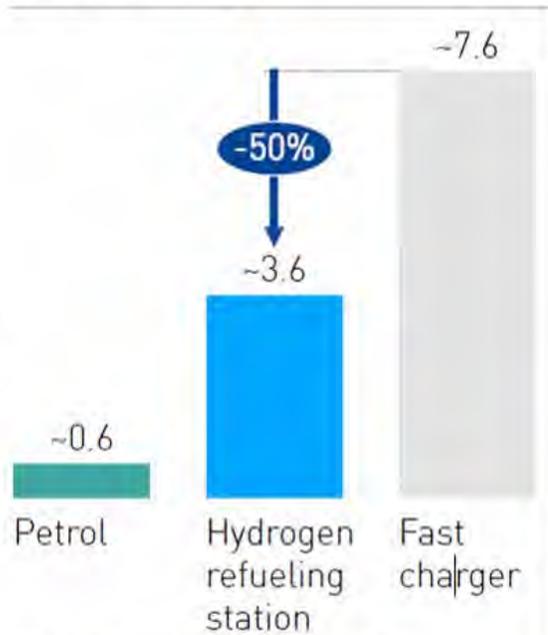


Wasserstoff tanken ist **15x schneller** als Schnellladen

Raumbedarf



Investitionskosten pro Betankung
€ / Betankung



Die Investitionskosten für Wasserstoffbetankung sind **halb so groß** wie für Schnellladen

Assumptions: Average mileage of passenger car = 24,000 km; number of PCs in EU in 2050: ~180 million; ICE: range = 750 km/refueling, refueling time = 3 minutes, FCEV: range = 600 km/refueling, refueling time = 5 minutes, fast charger = 1,080 km², BEV: range = 470 km/refueling, refueling time = 75 min, gas station = 1,080 m², WACC 8%, fast charger: hardware = USD 100,000, grid connection = USD 50,000, installation costs = USD 50,000, lifetime = 10 years; HRS: capex (1,000 kg daily) = EUR 2,590,000, lifetime = 20 years, refueling demand/car = 5 kg, gas: capex = EUR 225,750, lifetime = 30 years, 1 pole per station

Quelle: FCH2JU - Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking; Hydrogen Roadmap Europe 2019 [übersetzt]

Refuelling Stations: The deployment of HRS is expanding globally. In 2021, 142 HRS went into operation

² worldwide, more than ever before. In total, 685 HRS were in operation worldwide at the end of 2021, of which 363 were in Asia, 86 in North America and 228 in Europe. Germany is the country with most operating stations in Europe (101), followed by France (41), the UK (19), Switzerland (12) and the Netherlands (11)³⁸.

The geographical coverage of hydrogen refuelling infrastructure continues to expand, supporting the increasing number of FCEVs deployed. Currently, 177 hydrogen-refuelling stations are sending live data. The EU HRS availability system³⁹, an initiative funded by the Clean Hydrogen JU, offers a portal providing live-status information regarding each HRS in Europe, as shown in Figure 17.

The average HRS availability in 2021 for cars was 89% and for buses 97%, the latter surpassing the MAWP 2020 target (96%), but also on track to meet the SRIA 2024 target of 98%. The major causes for station downtime were the compressor, scheduled maintenance and updates.

Was ist erforderlich?

- Technisch gibt es **keine unüberwindbaren** Hürden mehr - Naturgesetze erlauben allerdings keine Quantensprünge – nur Lernkurven. Lernkurve? Serienfertigungen aufbauen.
- Die Infrastrukturen **müssen aufgebaut** werden – zuerst Erneuerbare Energieerzeuger
 - Netze – Strom **und** Wasserstoffpipelines
 - PTX und Sektorenkopplung – **konsequent**, ohne „Denksperren“
 - es geht um das **Gesamtsystem** nicht um einzelne Lösungen
- Es braucht den **zeitnahen Aufbau** des Pipelinenetzes (European Hydrogen Backbone) bzw. die Umwandlung bestehender Infrastrukturen - 70% des bestehenden Erdgasnetzes können fit gemacht werden.....wir hatten schon mal Stadtgas.
-

Es braucht Übergangsregelungen.....

- Es braucht die Nutzung von Erdgas, Klärgas, Biogas..... plus CCS und CU.....es braucht Pragmatismus und kein „ich möchte so bleiben wie ich bin“. Chancen wahrnehmen.....
- Es braucht verlässliche und stabile Rahmenbedingungen und Deadlines für die Unternehmen in der Industrie in der Logistik, in Gebäuden.
- Es braucht Mut zum Handeln – Offenheit – Kommunikation – und das Mitnehmen der Gesellschaft. ...klar – auch Geld ist notwendig.....

SPEICHERUNG IN GROßEN BATTERIEN Z.B. CLEVER

- Unterstützung des Rüsselsheimer Verteilnetzes mittels stationärer Batterien
- Einsatz von unterschiedlichen Batterietechnologien sowie Erfassen und Auswerten von Betriebsdaten:
 - 1. Vanadium-Redox-Flow-Batterie
→ 200 kW / 475 kWh 26t,
 - 2. Lithium-Ionen-Batterie
→ 704 kW / 675 kWh 9t
- Implementierung einer übergeordneten Steuerung beider Speicher als Hybridsystem.



Bild 1: Bestellter Lithium Ionen Speicher



Bild 2: Bestellter Vanadium-Redox-Flow-Speicher

Energiepark Mainz – die Gesamtanlage



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain

Windräder 4* 2 MW



Elektrolysehalle



H2-Speicher vor Ort:
26MWh bei 8MPa
oder 26
20-Fuß-Container
mit Lithiumionenbatterien

Einspeisung ins Erdgasnetz

Planned H2 pipeline infrastructure for large-scale connection of Europe and the Hessian region



Growing network covers more countries and reaches large potential import regions of green hydrogen in 2035

The European Hydrogen Backbone Initiative aims to have about 6,000 km by 2030, 2035 about 26,100 km and by 2040 53,000 km of H2 pipelines across Europe.



Quelle: **Extending the European Hydrogen Backbone** April 2021

H₂-Sicherheit



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain

Vergleich Brandversuch H2-Fahrzeug - Benzinfahrzeug



Photo 1 - Time: 0 min, 0 sec - Hydrogen powered vehicle on the left. Gasoline powered vehicle on the right.



Photo 2 - Time 0 min, 3 seconds - Ignition of both fuels occur. Hydrogen flow rate 2100 SCFM. Gasoline flow rate 680 cc/min.

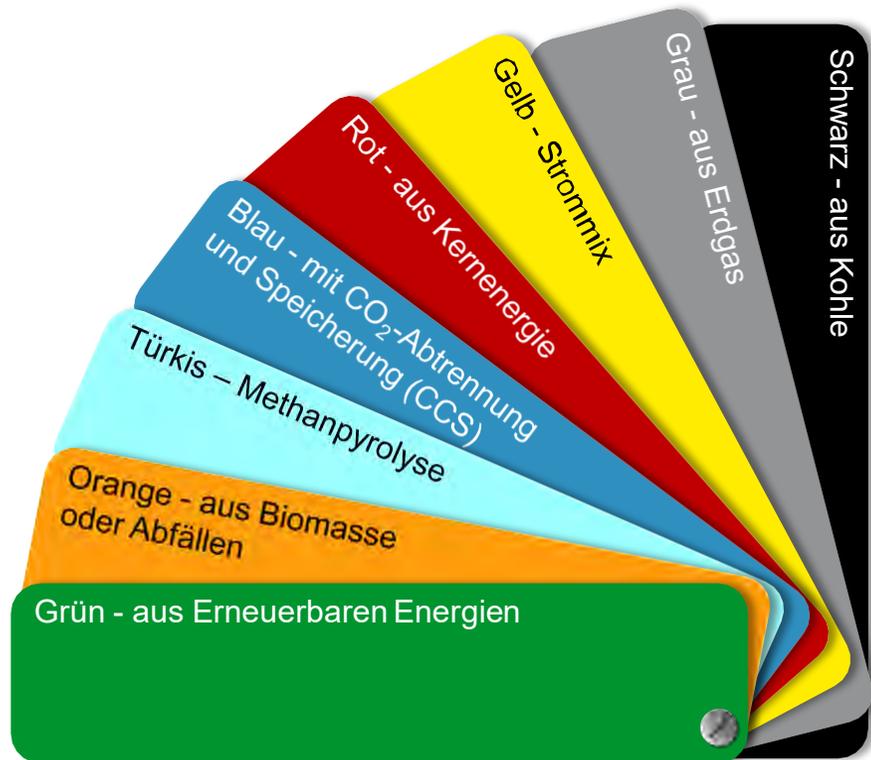


Photo 3 - Time: 1 min, 0 sec - Hydrogen flow is subsiding, view of gasoline vehicle begins to enlarge



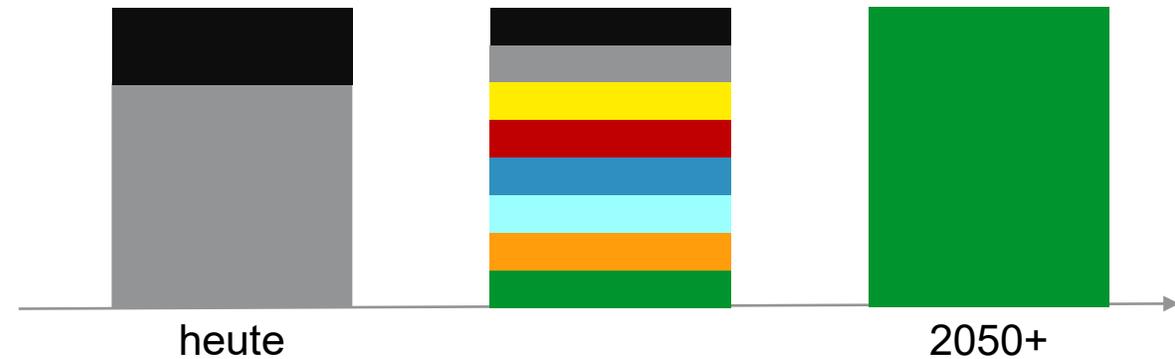
Photo 4 - Time: 1 min, 30 sec - Hydrogen flow almost finished. View of gasoline powered vehicle has been expanded to nearly full screen

Wasserstoff wird nach Art des Primärenergieträgers farblich zugeordnet



Primärenergie	Farbe H ₂	€/kg
Fossil		1,00 - 1,70
Fossil + CCS		1,70 - 2,50
EE / Biomasse / Abfälle		2,50 - 6,00

CCS = Carbon Capture and Storage





Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

Vielen Dank – ich freue mich auf Ihre Fragen.....。

Birgit Scheppat

Hochschule RheinMain

Birgit.Scheppat(@)hs-rm.de Tel. +49 6142 8984536



Hochschule **RheinMain**
University of Applied Sciences
Wiesbaden Rüsselsheim

02

Woher kommt der Wasserstoff und wie kommt der Wasserstoff zum Kunden....?

Möglichkeiten für die Verteilung von Wasserstoff

in Rohrleitungen (Pipeline)

in verflüssigter Form (LH₂)

in einer chemischen Bindung (LOHC)

als Druckgas (CGH₂)

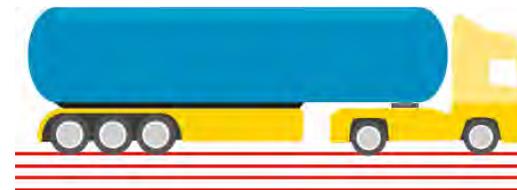
- Der Transport über Pipelines ist aufgrund von Kosten und planungsrechtlicher Hürden für neue Leitungen aufwendig. Erdgasleitungen können für den Wasserstofftransport umgestellt und um neue Leitungen ergänzt werden.
- Die LH₂-Infrastruktur (Verflüssigungsanlagen) ist europaweit noch nicht ausreichend vorhanden (3 Anlagen). Erstes LH₂-Transportschiff als Demonstrationsprojekt in Japan seit Juni 2021 in Betrieb,
- LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) ist noch im Versuchsmaßstab und steht derzeit nicht kommerziell zur Verfügung.
- Der Transport von Wasserstoff erfolgt heute fast ausschließlich gasförmig in Druckbehältern (Straßentransport), mit Druckstufen von meist 200 bar oder 300 bar, zukünftig auch 380 und 500 bar.



Trailer Druckflaschen liegend
200-250 bar ≈ 500 kg



Trailer Druckflaschen stehend
500 bar ≈ 1.000 - 1.300 kg
380 bar ≈ 1.000 kg
300 bar ≈ 800 - 1.000 kg



LH₂ Trailer
1-4 bar ≈ 3.300 - 4.000 kg, tiefkalt



1-4 bar ≈ 88.500 kg, tiefkalt

H₂-Anlieferung im Trailer

1. Druckwasserstoffanlieferung

- Stahlröhrentrailer 20 MPa [0,28 t]
- Stahlflaschenbündeltrailer 20 MPa [0,45 t]
- Verbundflaschentrailer 30...50 MPa [0,95 t – 1,3 t]
- Verbundflaschentrailer 70 MPa [1,2 t]

2. Flüssigwasserstofftrailer [3,5 t]

- 3. Liquid organic hydrogen Carrier [1,8 t]

CGH₂



Stahlröhrentrailer



Stahlflaschenbündeltrailer



Verbundflaschentrailer



Flüssigwasserstofftrailer

Exhibit 12: Overview of distribution options

Hydrogen Insight Report 2021
Hydrogen Council, Mc Kinsey

<0.1 USD/kg 0.1–1 USD/kg 1–2 USD/kg >2 USD/kg

		Costs				
		Distribution		Transmission		
		0–50 km	51–100 km	101–500 km	>1,000 km	>5,000 km
 Pipelines¹	Retrofitted	City grid	Regional distribution pipelines	Onshore transmission pipelines	Onshore/Subsea transmission pipelines	N/A
	New	City grid	Regional distribution pipelines	Onshore transmission pipelines	Onshore/Subsea transmission pipelines	N/A
 Shipping	LH₂	N/A	N/A	N/A	LH ₂ ship	LH ₂ ship
	NH₃²	N/A	N/A	N/A	NH ₃ ship	NH ₃ ship
 Trucking	LOHC²	N/A	N/A	N/A	LOHC ship	LOHC ship
	LH₂ trucking	Distribution truck LH ₂	Distribution truck LH ₂	Distribution truck LH ₂	N/A	N/A
	Gaseous trucking	Distribution truck CH ₂ ³	Distribution truck CH ₂ ³	Distribution truck CH ₂ ³	N/A	N/A

1. Assuming high utilization

2. Including reconversion to H₂; LOHC cost dependent on benefits for last mile distribution and storage

3. Compressed gaseous hydrogen

Exhibit 10: Emerging hydrogen distribution chains					
H ₂ value chain	Example end user (Europe, 2030)	Example value chain steps			Cost, USD/kg
		Production	Conversion/transmission	Distribution	
Onsite	Industrial, large scale offtaker	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/low-carbon production <p>1.6-2.3 USD/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> On-site storage for average of 1 day <p>0.5 USD/kg</p>		~2-3
Regional	H ₂ refueling stations (HRS)	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/low-carbon production <p>1.6-2.3 USD/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> Conversion to LH₂ and storage for average of 1 day <i>or</i> Storage as GH₂ for average of 1 day and compression to 700 bar <p>0.7-1.0 USD/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> Trucking as LH₂ for 300km + operating of 1,000kg LH₂ HRS <i>or</i> Piping as GH₂ for 300km and operating of 1,000kg GH₂ HRS¹ <p>1.0-2.0 USD/kg</p>	~3-5
International	Industrial, large scale offtaker	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/ low-carbon production <p>1.0-1.4 USD/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> International pipeline for ~9,000km and storage at port for average of 2 weeks <i>or</i> Carrier conversion/reconversion, shipping for ~9,000km and storage at port for average of 2 weeks <p>0.6-3.5 USD/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> Trucking as LH₂/GH₂ for 300km and onsite storage for average of 1 day <i>or</i> Piping as GH₂ for 300km and onsite storage for average of 1 day <p>0.1-2.0 USD/kg</p>	~2-7

¹ Refers to usage of existing pipeline to industrial hub

The emergence of international distribution is driven by cost differences for hydrogen production stemming from renewables endowment, the availability of natural gas and carbon storage sites, existing infrastructure and the ease and time requirements for its build-out, land use constraints, and the assignment of local renewables capacity for direct electrification. Many expected hydrogen demand centers, including Europe, Korea, Japan, and parts of China, experience such constraints. In some of these cases, H₂ suppliers will meet this demand more effectively by importing hydrogen rather than producing it locally (see Exhibit 11).

Zusammenfassung

Speicherung und Transport sind **technisch unproblematisch** – allerdings muss die Infrastruktur erst aufgebaut werden.

Noch wenig Erfahrung über lange Zeiträume gibt es einzig mit 70MPa Anwendungen im Verkehr.

Für jede Applikation bzw. Anwendung lässt sich eine Speichermöglichkeit für Wasserstoff finden.

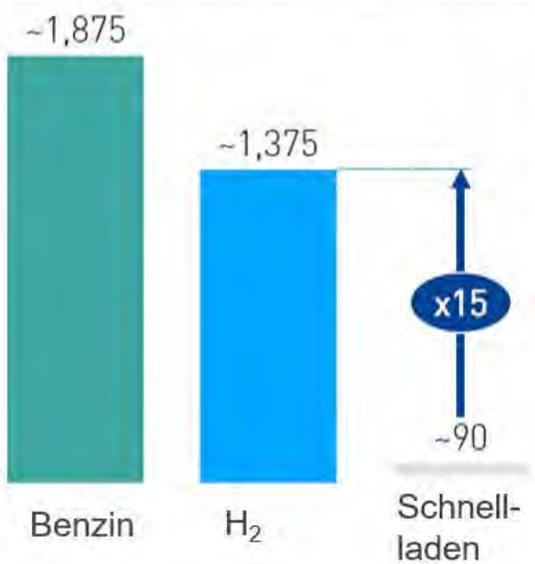
Dehydrieren wie bei LOHC oder Ammoniak ist die Crux aufgrund der hohen energetischen Aufwendungen. Bei Ammoniak kommt nach das Handling als Gefahrstoff dazu....

Der Transport kleinerer Mengen kann mit Gasbündeln und Trailer erfolgen
Transport großer Mengen mit Pipelines, Schiffen usw.
Die Speicherung von großen Mengen Wasserstoff in Kavernen ist möglich, allerdings noch mit technischen Problemen verbunden.

Das Problem sind die letzten Kilometer bis zur Anwendung

AUSWIRKUNGEN DER BETANKUNGSGESCHWINDIGKEIT AUF RAUMBEDARF UND INVESTITIONEN

Geschwindigkeit beim Tanken Km / 15 min Betankungsdauer

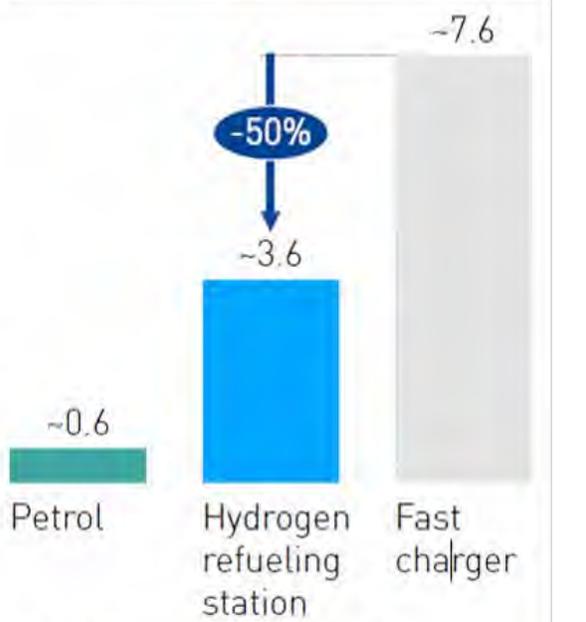


Raumbedarf

~ 8 MW Stromleitung werden benötigt für die Spitzenlast von 60 Schnellladestationen. Wasserstoff hingegen kann flexibel regenerative Energie nutzen.



Investitionskosten pro Betankung € / Betankung



Assumptions: Average mileage of passenger car = 24,000 km; number of PCs in EU in 2050 = 180 million; ICE: range = 750 km/refueling, refueling time = 3 minutes; FCEV: range = 600 km/refueling, refueling time = 5 minutes, fast charger = 1,080 km²; BEV: range = 470 km/refueling, refueling time = 75 min, gas station = 1,080 m²; WACC 6%, fast charger: hardware = USD 100,000, grid connection = USD 50,000, installation costs = USD 50,000, lifetime = 10 years; HRS: capex (1,000 kg daily) = EUR 2,590,000, lifetime = 20 years, refueling demand/car = 5 kg, gas: capex = EUR 225,750, lifetime = 30 years, 1 pole per station

Quelle: FCH2JU - Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking; Hydrogen Roadmap Europe 2019 [übersetzt]



HOLA – Megawattcharging für Nutzfahrzeuge

8. Fachkonferenz Elektromobilität vor Ort

Volvo Trucks

Volvo Trucks | Market Germany | Gregor Frieb

14.04.2022

HOLA | PROJEKTSTRUKTUR

Überblick Arbeitspakete

Planung und Aufbau der Ladestandorte

Standortauswahl und -konfiguration für die Errichtung der Ladeinfrastruktur

Gesamtkonzept zum Hochleistungsladen für weitere Ausbauplanung

Ableitung langfristiger Anforderungen an Ladeparks und Fahrzeuge

Demonstration

Aufbau der Ladeinfrastruktur CCS und Ausbau MCS an vier Standorten

Betrieb der Ladeinfrastruktur CCS und MCS an vier Standorten

Aufbau und Betrieb der CCS-Fahrzeuge mit über 350 kW Ladefähigkeit

Aufbau und Betrieb der MCS-Fahrzeuge mit über 750 kW Ladefähigkeit

Abstimmung mit der internationalen Standardisierung der MCS-Ladestellen

Begleitung und Umfeldanalyse

Untersuchung der Usability, Resilienz & der energiewirtschaftlichen Integration

Organisationsmodelle für Bereitstellung und Finanzierung & Wirtschaftlichkeit

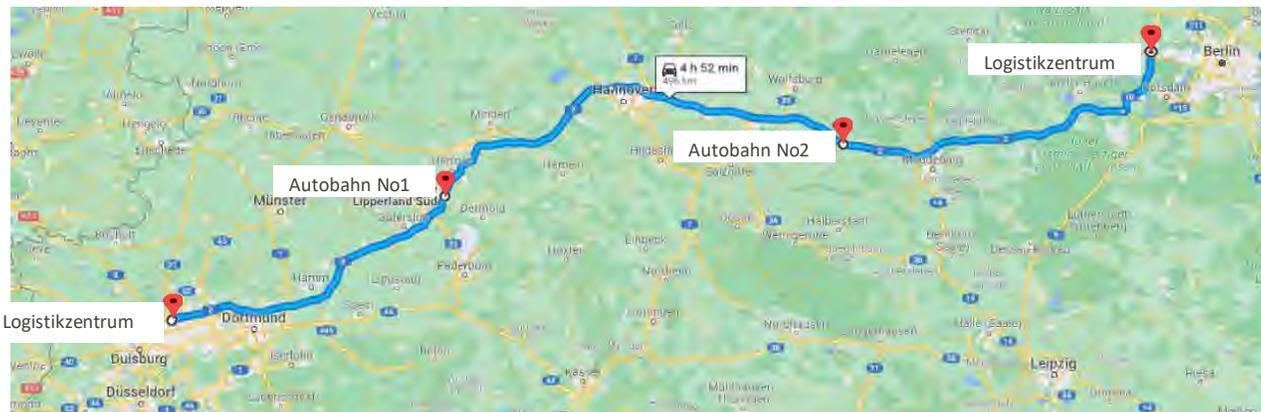
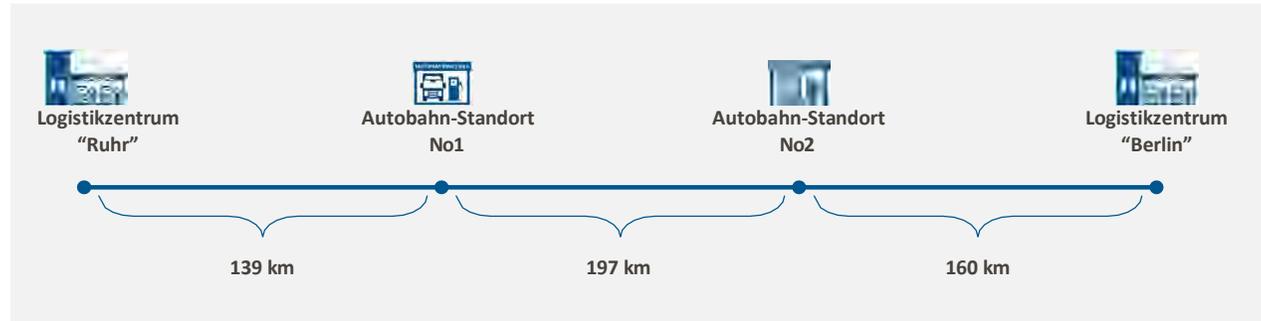
Projektmanagement und Wissenstransfer

HOLA | STANDORT AUSWAHL UND LAYOUT

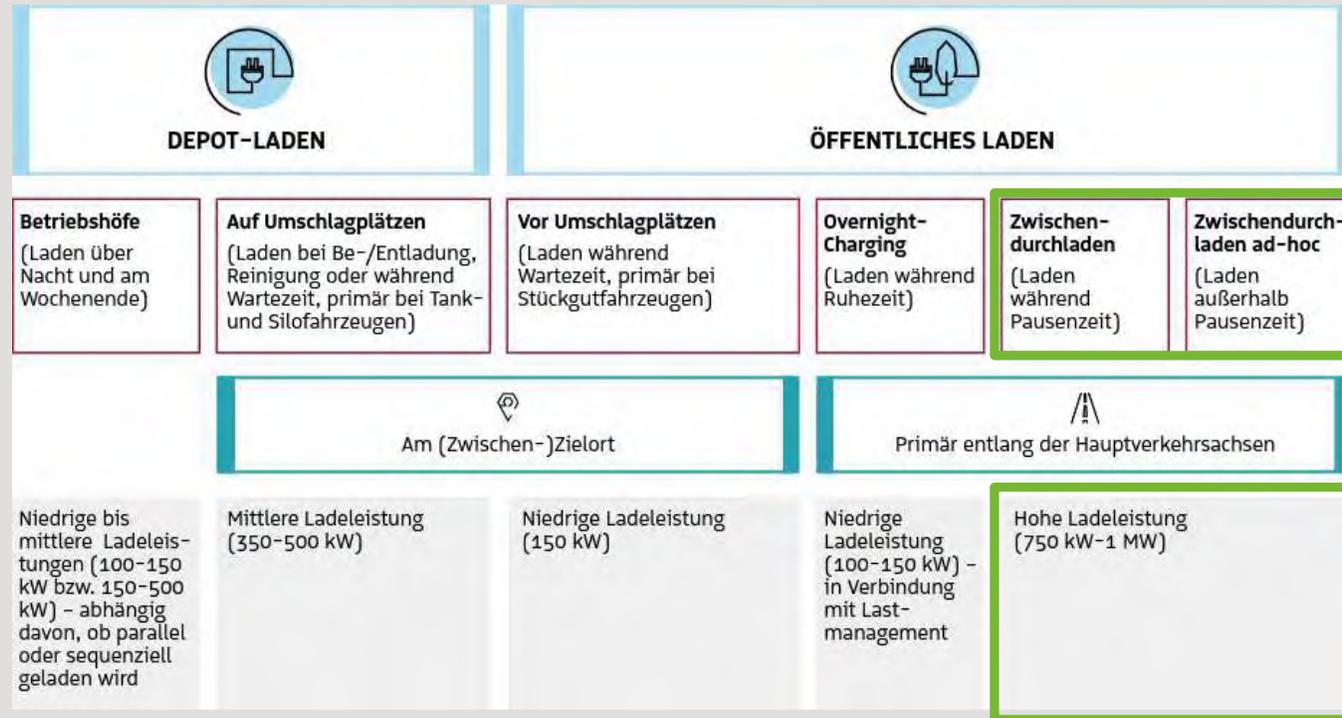
HOLA Streckenverlauf

HoLa: Streckenverlauf & Daten

Route	Zwischen dem Ruhrgebiet und Berlin, an der Autobahn A2
Gesamtlänge	496 km
Anzahl Ladestationen	4
Anzahl CCS Ladepunkte	8
Anzahl MCS Ladepunkte	8
Netzleistung insgesamt	11.4 MW
Anzahl Fahrzeuge	12

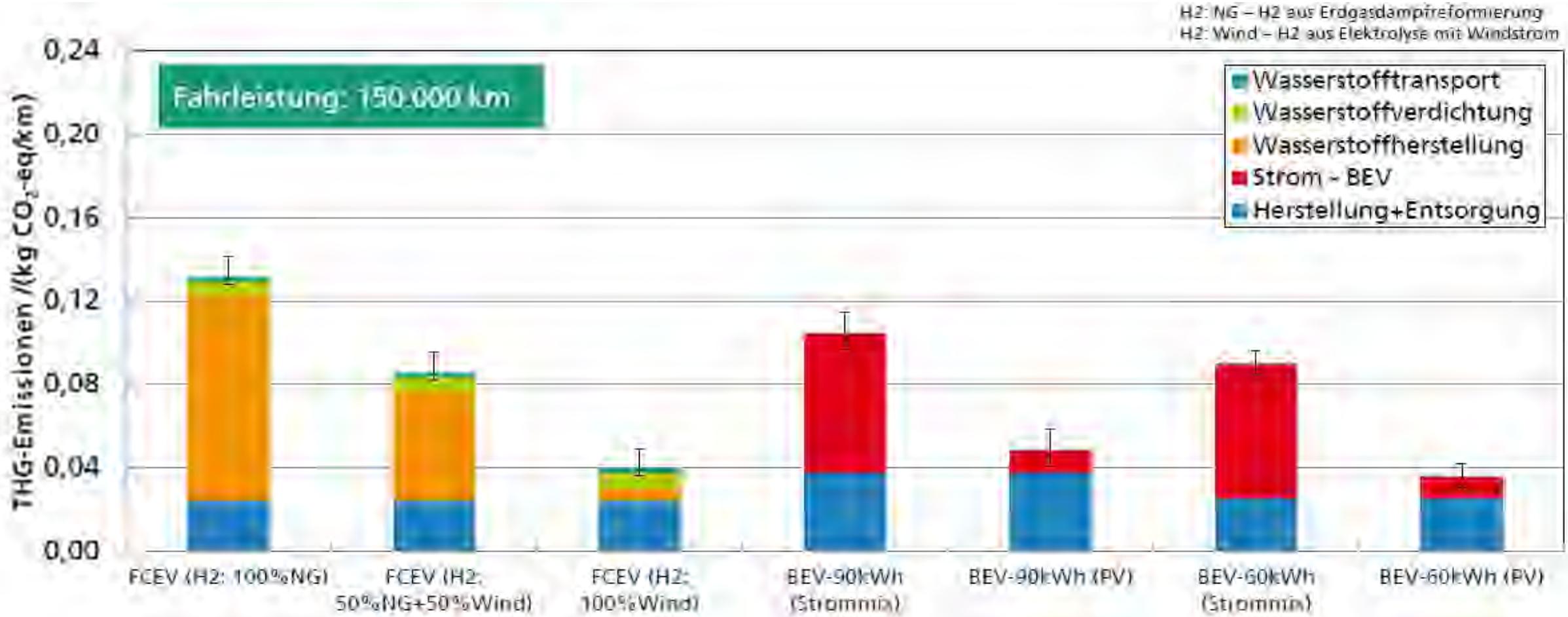


Ladeszenarien



Quelle: Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Lkw, S. 11. www.plattform-zukunft-mobilitaet.de

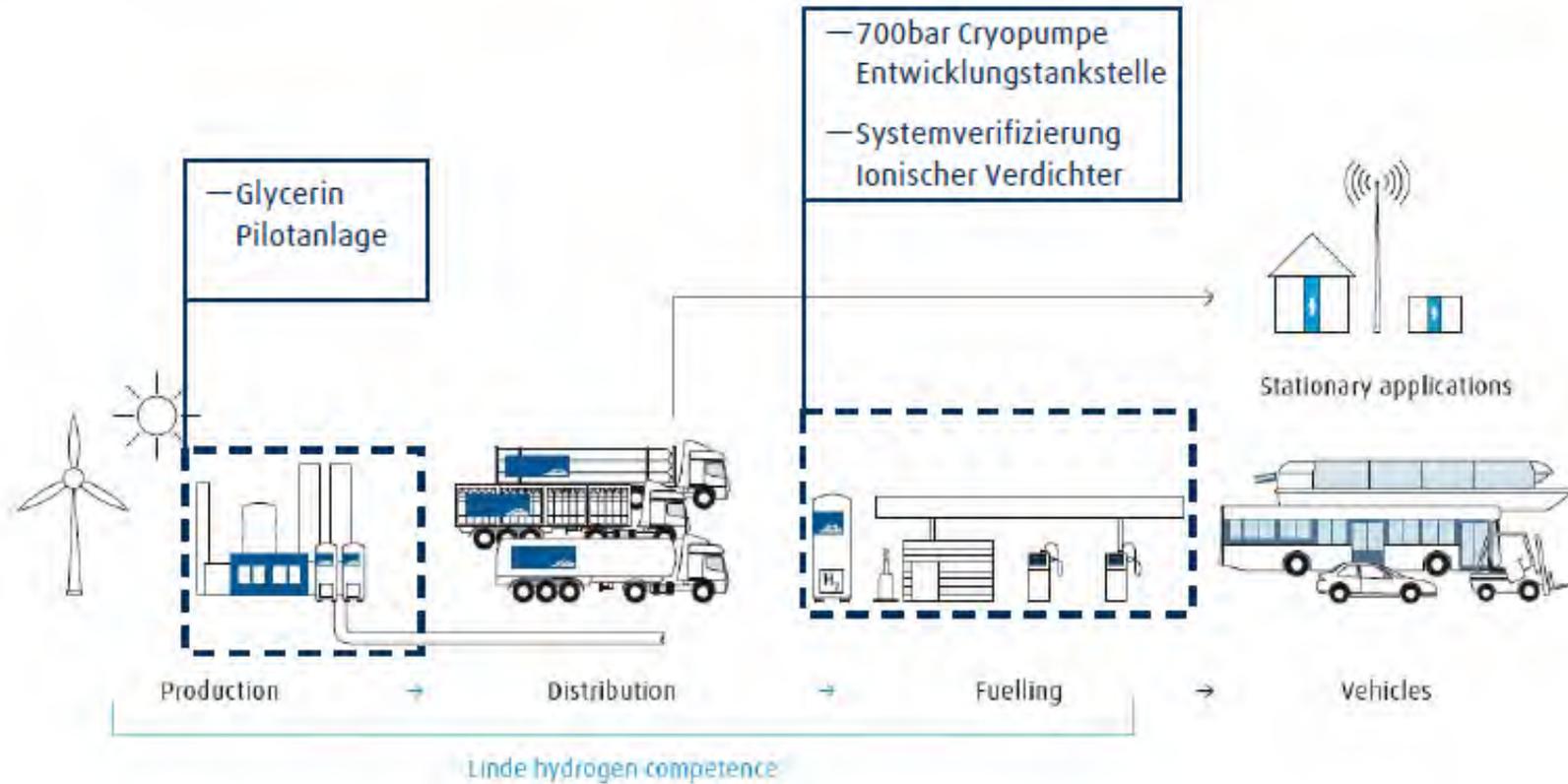
THG-Emissionen Fahrzeugbetrieb für 2030-2040 (inklusive Herstellung + Entsorgung Batterie, Brennstoffzelle und H2-Tank)



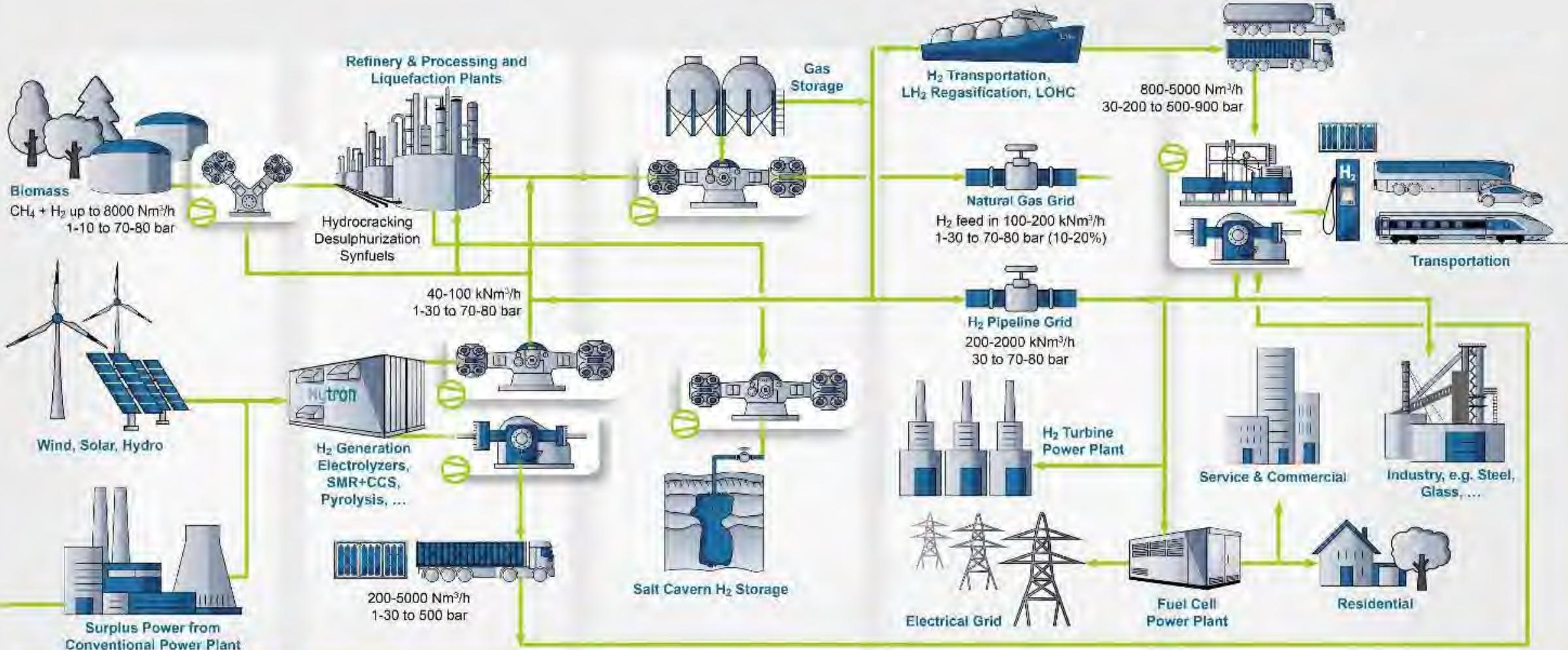
Wasserstoff-Infrastruktur: R&D – Förderprojekte entlang der Wertschöpfungskette



› RheinMain
einMain



HYDROGEN – KEYSTONE OF THE SOLUTION FOR THE VOLATILITY, STORAGE AND TRANSPORTATION CHALLENGES



Primary Energy

Conversion & Processing

Storage

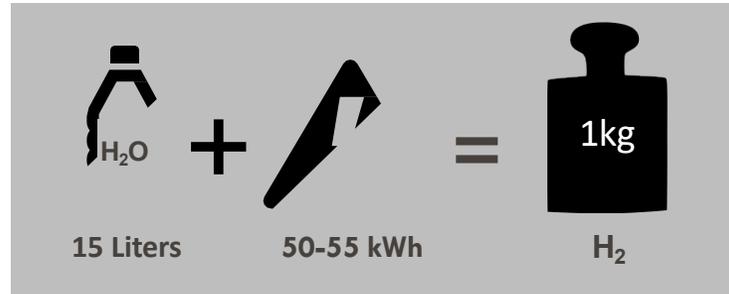
Transport & Distribution

Final Energy Demand

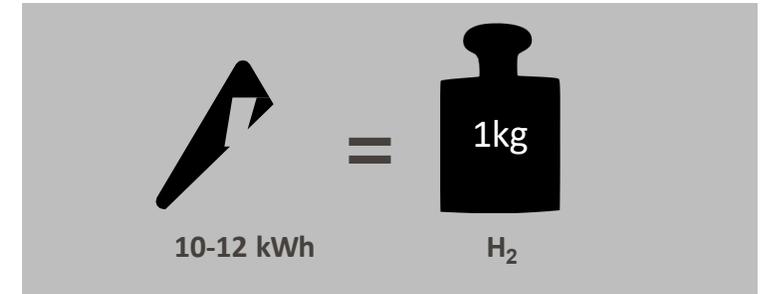
ENERGY TRANSITION: THE ROLE OF H₂ AS THE ENABLER FOR SECTOR COUPLING:



CALORIFIC VALUE



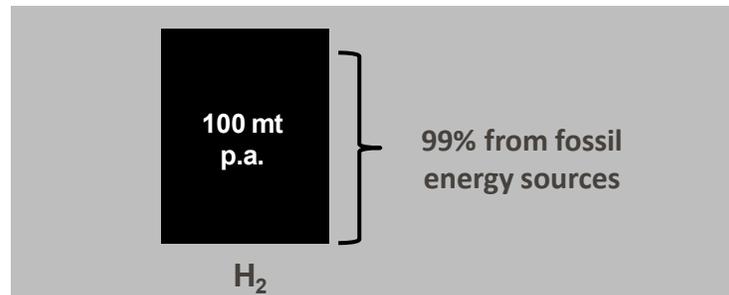
RESSOURCES



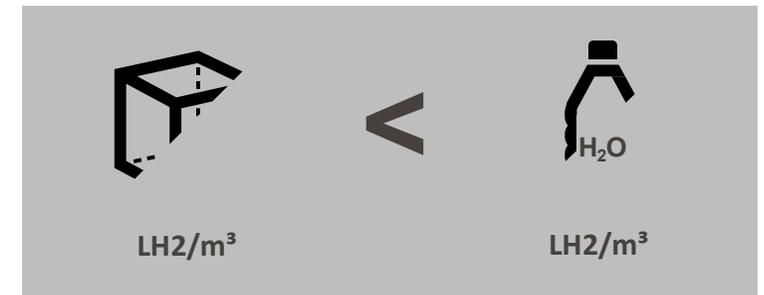
LIQUEFACTION



NATURAL GAS VS HYDROGEN

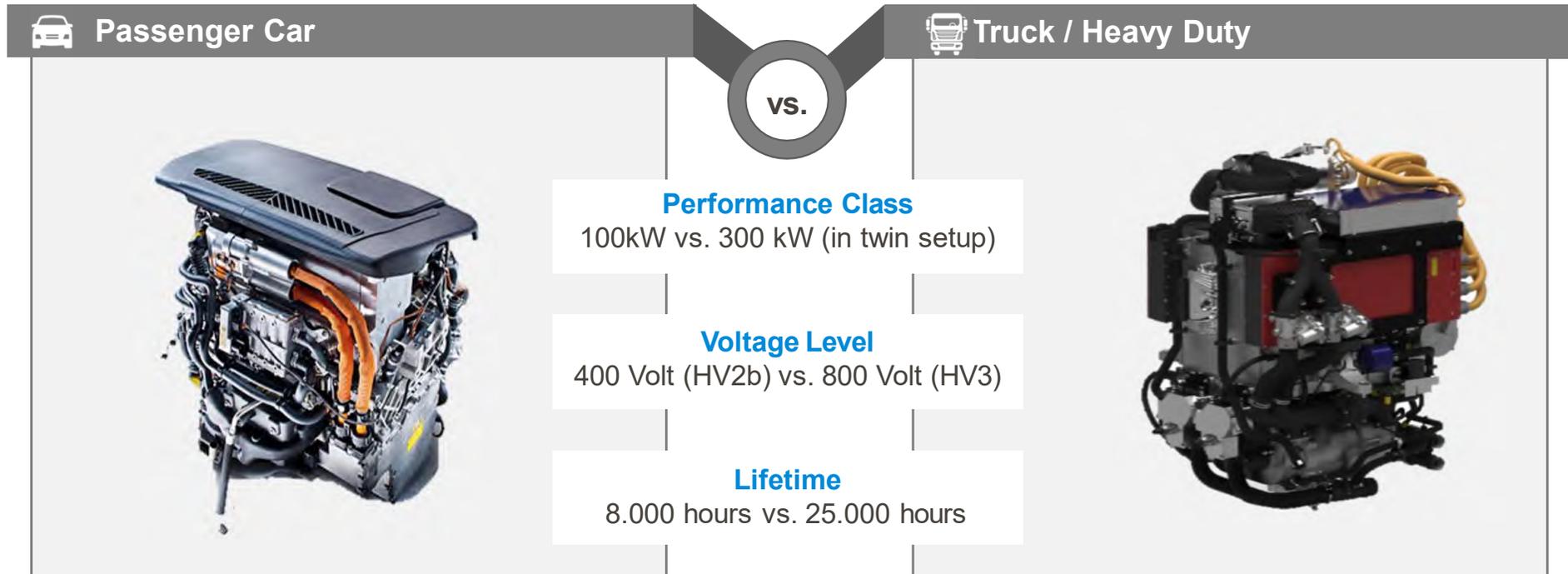


ANNUAL H₂ PRODUCTION



FUN FACT

Differences in fuel cell system requirements from passenger car to heavy-duty truck applications



CGH₂ Storage for Bulk H₂ Transport



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain



Hexagon



- ◆ **Benchmarking storage weight**
 - cylinder weight 30 % of steel cylinder
- ◆ **Outperforming competition**
 - up to 8400 l volume per cylinder
 - 4 cylinders fit in 40' container
 - 250 bar
 - neck mounted
- ◆ **Setting safety standards**
 - no fatigue issues
 - corrosion free for 20 years lifetime

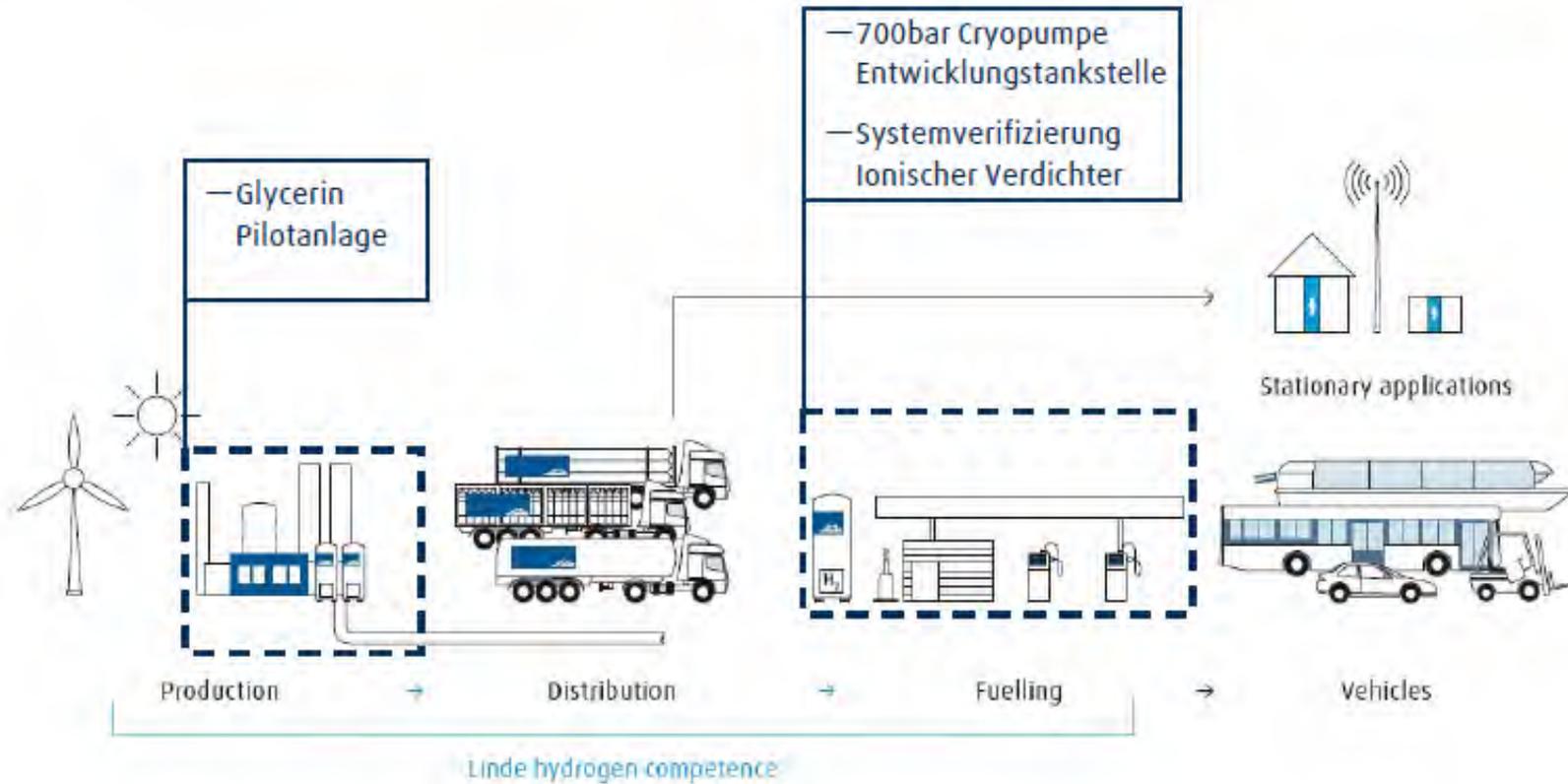


Air Products

Wasserstoff-Infrastruktur: R&D – Förderprojekte entlang der Wertschöpfungskette



› RheinMain
einMain

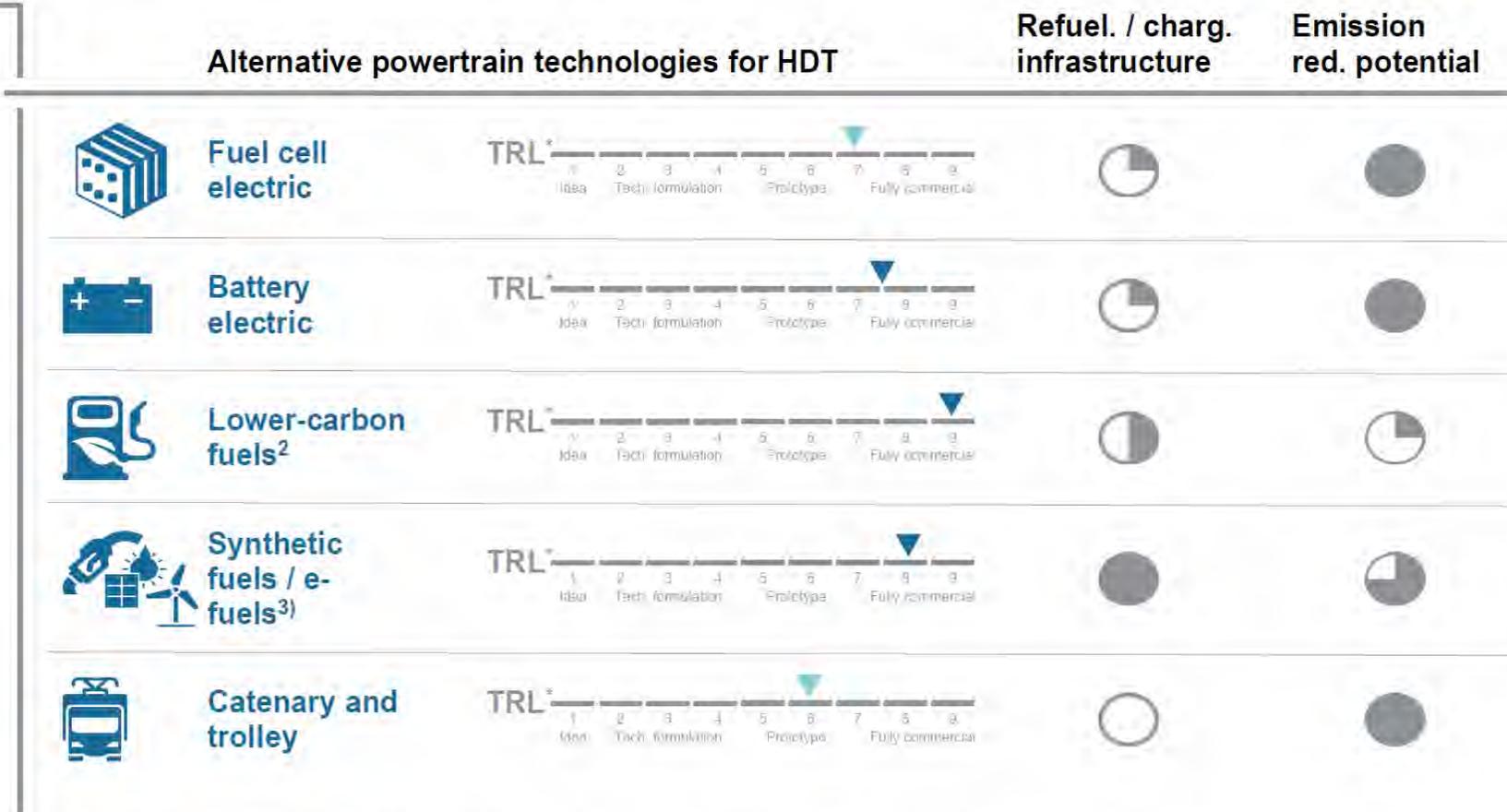


The technological readiness level of FCH in heavy duty trucks is comparable to battery electric technologies

Overview technological readiness level

Outside-in view

- > Interest and action on FCH trials and demonstration projects is increasing
- > Other alternative powertrain technologies are being promoted in parallel



1) Emission reduction potential: Tank-to-Wheel 2) Low carbon fuels (e.g. CNG, LNG), liquid biofuels 3) Sustainable e-fuels from renewable sources

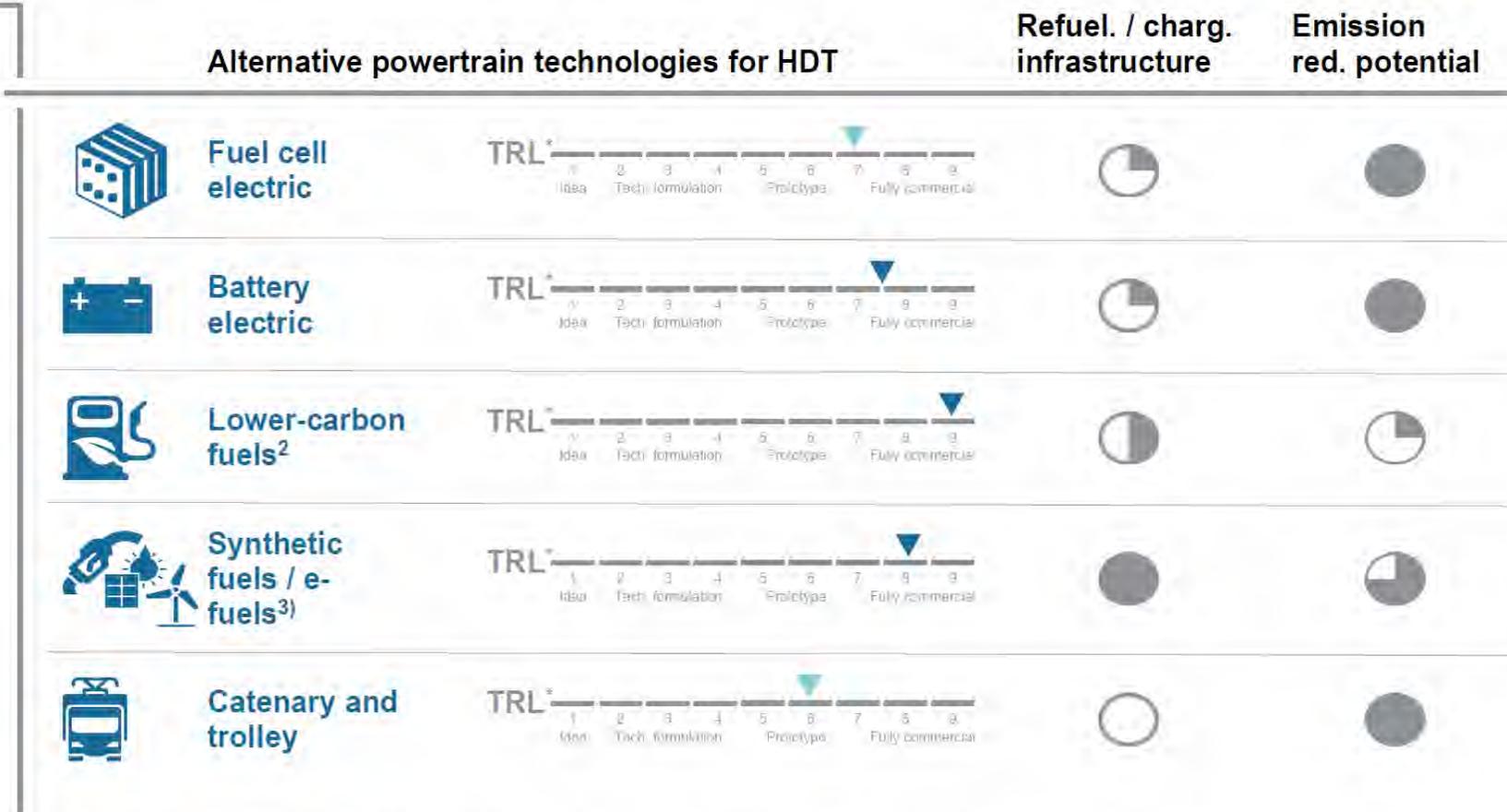
*) Technology Readiness Level of truck  ≤ 5  6-7  8-9 Legend:  low level  high level

The technological readiness level of FCH in heavy duty trucks is comparable to battery electric technologies

Overview technological readiness level

Outside-in view

- > Interest and action on FCH trials and demonstration projects is increasing
- > Other alternative powertrain technologies are being promoted in parallel



1) Emission reduction potential: Tank-to-Wheel 2) Low carbon fuels (e.g. CNG, LNG), liquid biofuels 3) Sustainable e-fuels from renewable sources

*) Technology Readiness Level of truck  ≤ 5  6-7  8-9 Legend:  low level  high level

While multiple alternative powertrain options exist, FCH offer a 0-emission alternative with operational and payload flexibility

High-level comparison of powertrain technology portfolio for HDT

	Reference		Project focus			
	Fossil powertrains				Zero emission ¹	Catenary / Trolley
	Diesel	LNG/CNG	e-fuels	Battery-electric	Fuel Cell-electric	Catenary / Trolley
Description	 Combustion engine powered by diesel	 Combustion engine powered by LNG/CNG	 Combustion engine powered by e-diesel	 Electric motor powered by chem. stored energy in a rechargeable battery	 Electric motor powered by a fuel cell, combined with a battery	 Electric motor powered by DC from overhead lines using a pantograph
Strengths	<ul style="list-style-type: none"> > Established technology with widespread infrastructure > Long daily driving ranges 	<ul style="list-style-type: none"> > Fuel cost advantage compared to diesel > Lower particulate emissions than diesel 	<ul style="list-style-type: none"> > Use of existing infrastructure > Use of existing HDT combustion engines 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET 	<ul style="list-style-type: none"> > Charging while driving, i.e. no stops needed > Smaller batteries and good CO₂ footprint
Potential constraints	<ul style="list-style-type: none"> > CO₂ and NO_x emissions and related regulation 	<ul style="list-style-type: none"> > Infrastructure availability > Limited emission reduction potential > Relatively low fuel efficiency (~25%) 	<ul style="list-style-type: none"> > Production cost not on competitive level: ~3.5 x diesel price > Remaining local emissions (e.g. NO_x) > CO₂ sourcing 	<ul style="list-style-type: none"> > Cost, size and weight of batteries > Range limitations > Recharging time and space required > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Production cost of H₂ > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Limited flexibility of routes > Early development stage

1) With primary energy derived from renewable sources  Remaining local emissions

While multiple alternative powertrain options exist, FCH offers an emission alternative with operational and payload flexibility.

High-level comparison of powertrain technology portfolios

Reference		Fossil powertrains		Battery electric powertrains		Fuel cell electric powertrains	
Diesel	LNG	Battery	Fuel cell	Battery	Fuel cell	Battery	Fuel cell
<ul style="list-style-type: none"> > High powertrain efficiency > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > High powertrain efficiency > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > High powertrain efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET 	<ul style="list-style-type: none"> > Meet emission restrictions > Possibility for long daily driving ranges > Quick refueling compared to BET
<ul style="list-style-type: none"> > Production cost not on competitive level: ~3.5 x diesel price > Remaining local emissions (e.g. NO_x) > CO₂ sourcing 	<ul style="list-style-type: none"> > Production cost not on competitive level: ~3.5 x diesel price > Remaining local emissions (e.g. NO_x) > CO₂ sourcing 	<ul style="list-style-type: none"> > Cost, size and weight of batteries > Range limitations > Recharging time and space required > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Cost, size and weight of batteries > Range limitations > Recharging time and space required > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Production cost of H₂ > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Production cost of H₂ > Vehicle cost 	<ul style="list-style-type: none"> > Charging while driving, i.e. no stops needed > Smaller batteries and good CO₂ footprint 	<ul style="list-style-type: none"> > Availability of infrastructure > Limited flexibility of routes > Early development stage

Wasserstoffelektrische und batterieelektrische Fahrzeuge unterscheiden sich nur durch die Energievorhaltung.
 Die Leistungselektronik und die anderen Komponenten des Powertrains können identisch sein.
 Kritische Aspekte sind Thermomanagement (Batterie und Brennstoffzelle) und das Zuführen/Abführen der Medien bei der Brennstoffzelle.
 Vorteil Brennstoffzelle der Energievorrat wird extern gespeichert. Befüllen ähnlich wie bei Dieselfahrzeugen

1) With primary energy derived from renewable sources Remaining local emissions

Nutzfahrzeuge



ERSTE PROTOTYPEN UND ANKÜNDIGUNGEN

Tests in der Schweiz (Esoro)



©eurotransport.de

Tests in der Kalifornien (Toyota)



© Edison.media

Hyundai kündigt



Nikola kündigt an



© Commercial Carrier Journal



©verkehrs-rundschau.de

LKW-HERSTELLER

IVECO (CNH) und Nikola



https://www.eurotransport.de/artikel/irprev_11162196_53d50f36dedc335cf52de831edb598c1.html?6206

Daimler: GenH2 und Kooperation mit Volvo



<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/wasserstoff-trucks-daimler-will-diesel-lkw-bis-2030-ueberfluessig-machen/26190916.html>

DAF und Hyzon



<https://www.eurotransport.de/artikel/hyzon-motors-nimmt-europa-ins-visier-brennstoffzellen-lkw-auf-daf-basis-geplant-11164881.html>

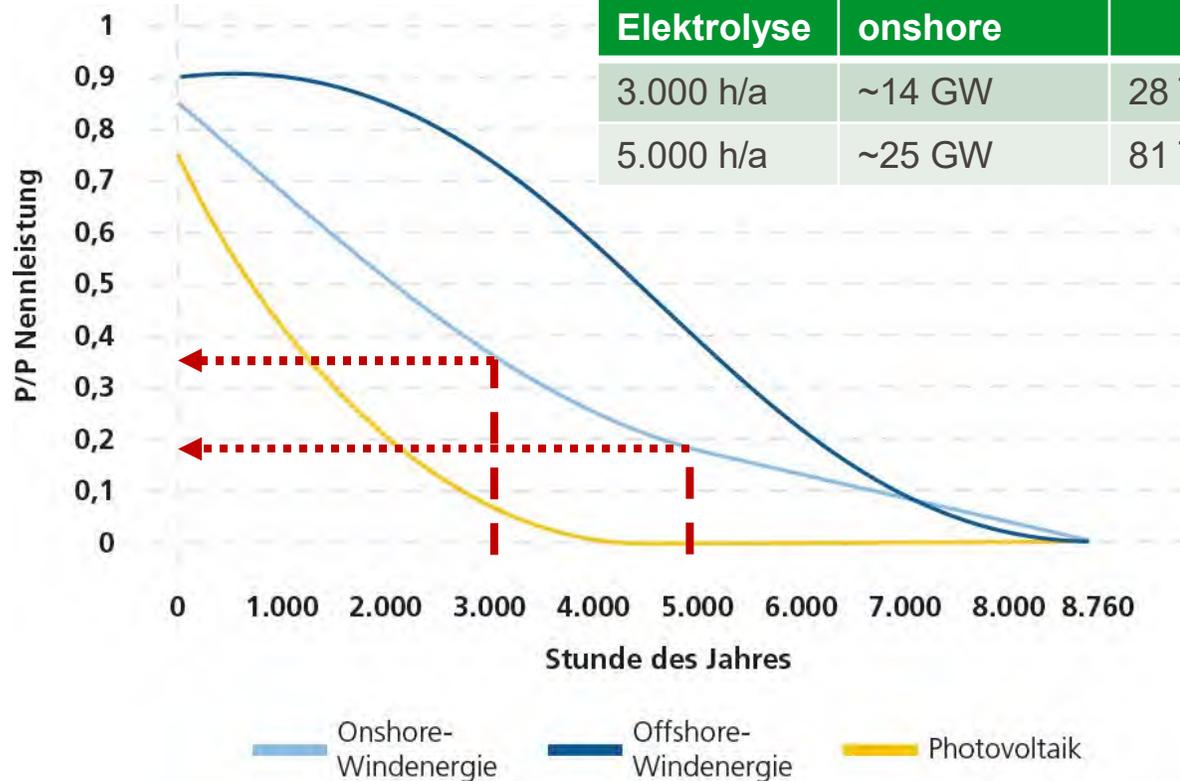
Toyota und Hino: ab 2022 am Markt



<https://www.eurotransport.de/artikel/toyota-und-hino-brennstoffzellen-lkw-kommt-2022-11169875.html>

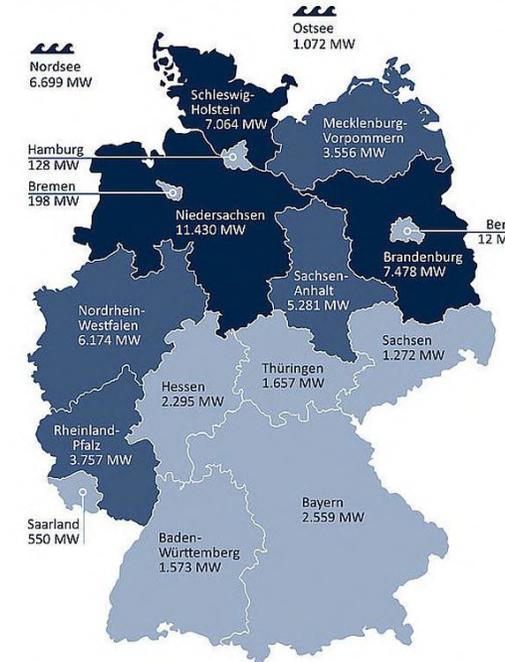
Herausforderung: H₂-Elektrolysezubau mit 5 GW erfordert einen zusätzlichen Ausbau der Erneuerbaren Energien

Volllaststd. Elektrolyse	erfordl. Wind onshore	H ₂
3.000 h/a	~14 GW	28 TWh
5.000 h/a	~25 GW	81 TWh




WINDENERGIE FACTSHEET DEUTSCHLAND 2020

INSTALLIERTE LEISTUNG PRO BUNDESLAND | GEBIET



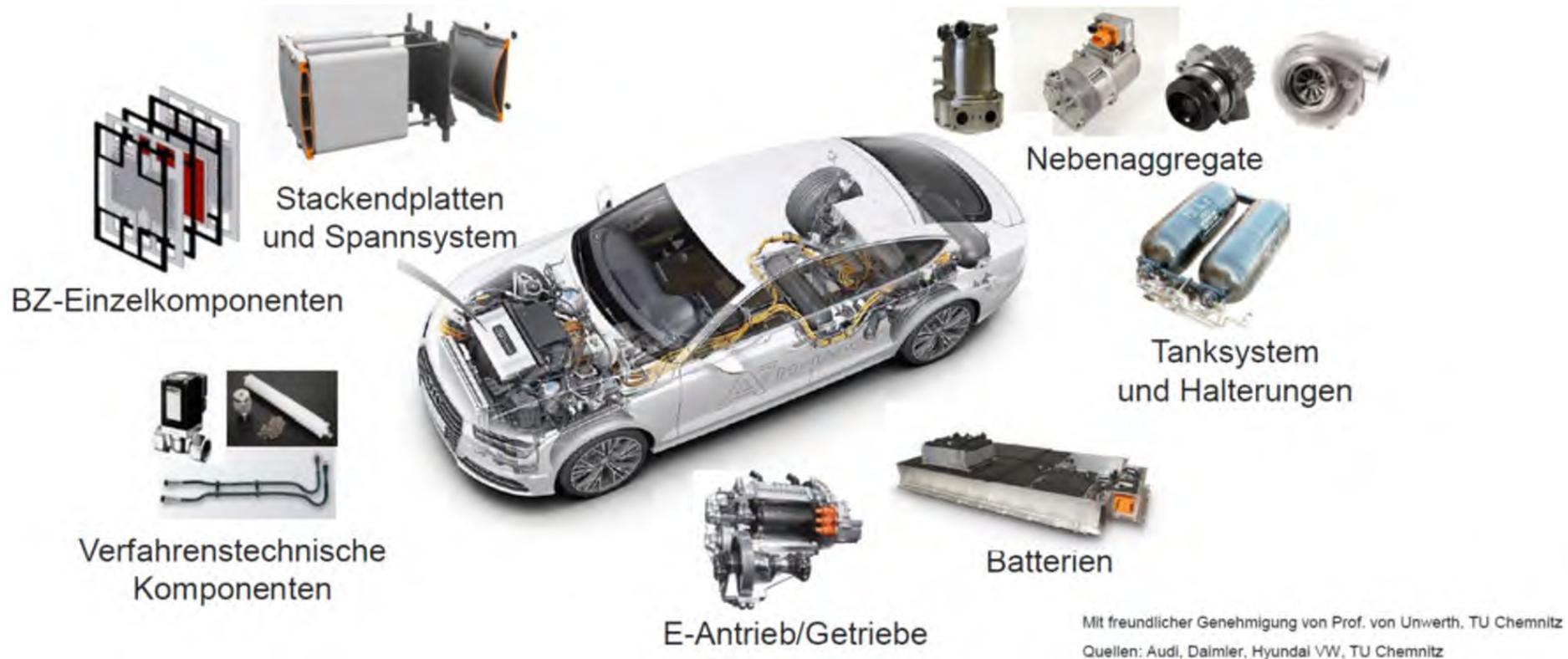
- 63,924 GW in 2021**
- 62,708** Gigawatt [GW] Gesamtleistung installiert (54,938 GW an Land, 7,770 GW auf See)
- 31.109** Anlagen (29.608 an Land, 1.501 auf See)
- 1.650** Megawatt [MW] 2020 neu installiert (1.431 MW an Land, 219 MW auf See, 25% Wachstumsrückgang zu 2019)
- 132** Terawattstunden [TWh] (105 TWh an Land, 27 TWh auf See, 4,6% Wachstum zum Vorjahr)
- 122 in 2021**
- 89** Millionen Tonnen CO₂-Equivalent, vermiedene Treibhausgase in 2019
- 27** Prozent Anteil an der deutschen Stromproduktion [Netto], 2020 wichtigste Energiequelle im deutschen Strommix

Quellen: BWE, Dt.WindGuard, Fraunhofer ISE, Umweltbundesamt

Grafik: Strom-Report Stand: Februar 2021

2030 Wasserstoffbedarf 70 bis 110 TWh

- Typische Komponenten im Brennstoffzellen-Fahrzeugantrieb



- FCEV insgesamt ca. 900 Bauteile vs. BEV 200 Bauteile

Ziel: Erfassen der Skalierungseffekten von BOP-Komponenten in Brennstoffzellensystemen

- HS RheinMain baut einen Brennstoffzellen Prüfstand bis 10KW
- Projektpartner ABTe-Line verbaut ein Brennstoffzellensystem
- Projektpartner HS-Kempten misst ein 100 kW Brennstoffzellensystem

Das Ziel der Erfassung von Skalierungseffekten,
Klären von physikalischen Parametern, die die Lebensdauer von Komponenten untersuchen,
Ziel Prognosetools für Predictive Maintenance.

Further information

www.energiepark-mainz.de/en/

www.forschung-energiespeicher.info/en/

Contact:

RheinMain University of Applied
Sciences
Am Brückweg 26
65428 Rüsselsheim, Germany

Birgit Scheppat
Birgit.Scheppat@hs-rm.de



H₂-Sicherheit



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain

Vergleich Brandversuch H2-Fahrzeug - Benzinfahrzeug



Photo 1 - Time: 0 min, 0 sec - Hydrogen powered vehicle on the left. Gasoline powered vehicle on the right.



Photo 2 - Time 0 min, 3 seconds - Ignition of both fuels occur. Hydrogen flow rate 2100 SCFM. Gasoline flow rate 680 cc/min.



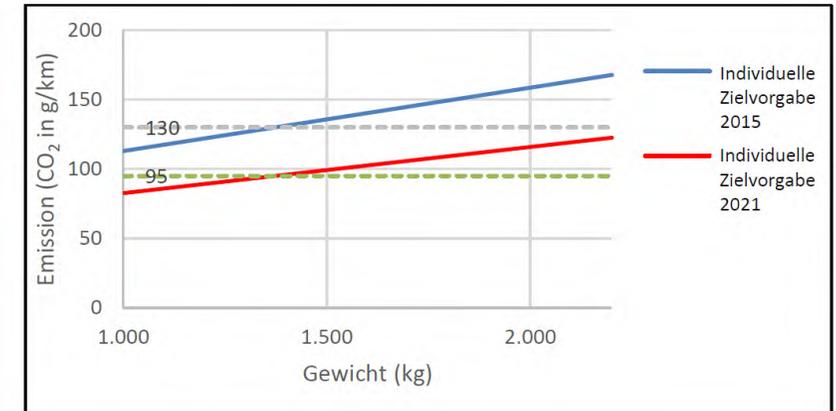
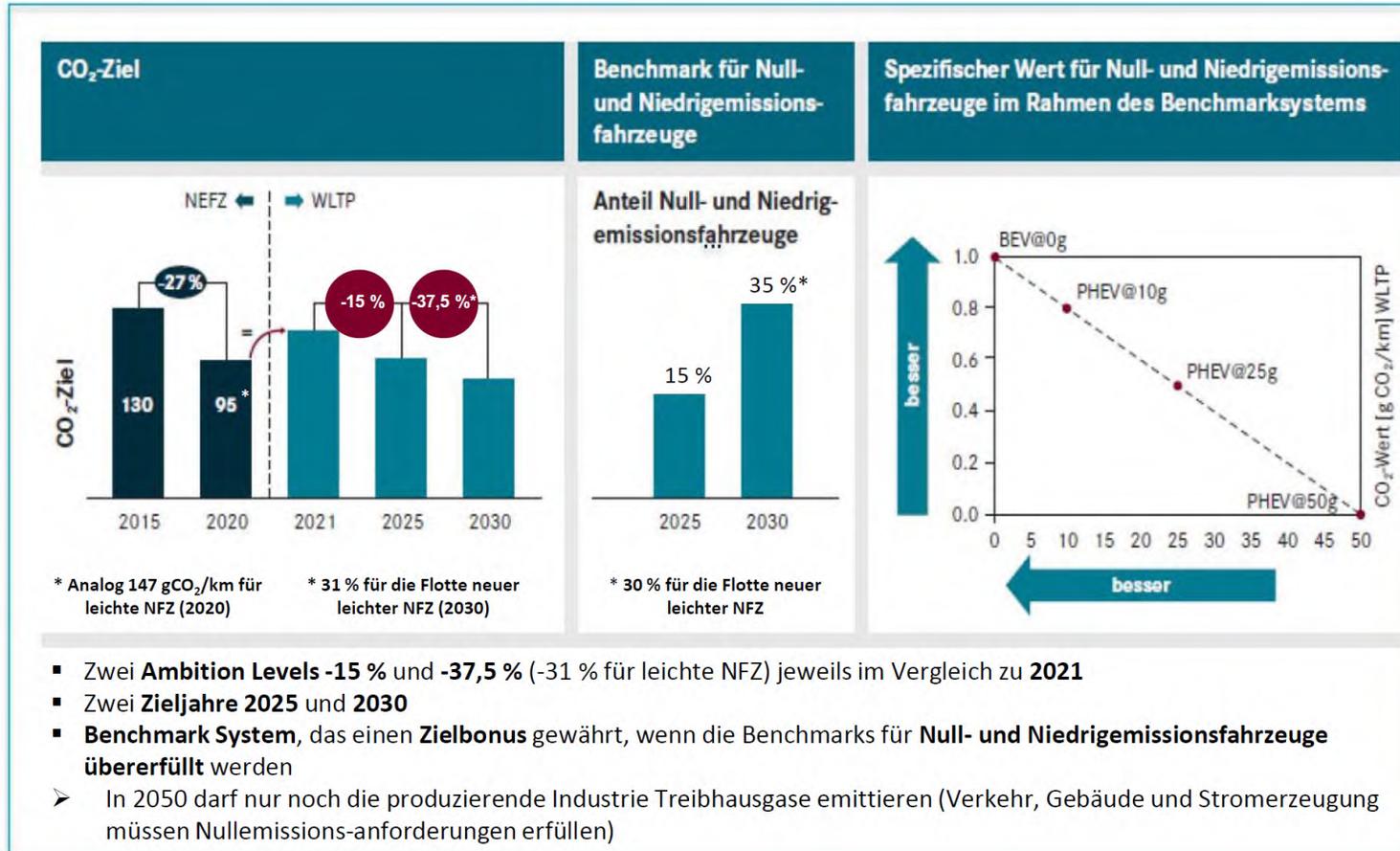
Photo 3 - Time: 1 min, 0 sec - Hydrogen flow is subsiding, view of gasoline vehicle begins to enlarge



Photo 4 - Time: 1 min, 30 sec - Hydrogen flow almost finished. View of gasoline powered vehicle has been expanded to nearly full screen

Verkehrssektor im Jahr 2050 bei Null-Emissionen

EU-Regulierungen zur CO₂-Reduzierung bei PKWs und leichten NFZ bis 2030



Neue Grenzwerte:

(EU-Verordnung 2019/631 beschlossen am 17.04.2019)

Bis 2025: -15% ggü. 2021

Bis 2030: -37,5% ggü. 2021 (PKW)

-31 % ggü. 2021 (leichte NFZ)

Quelle:

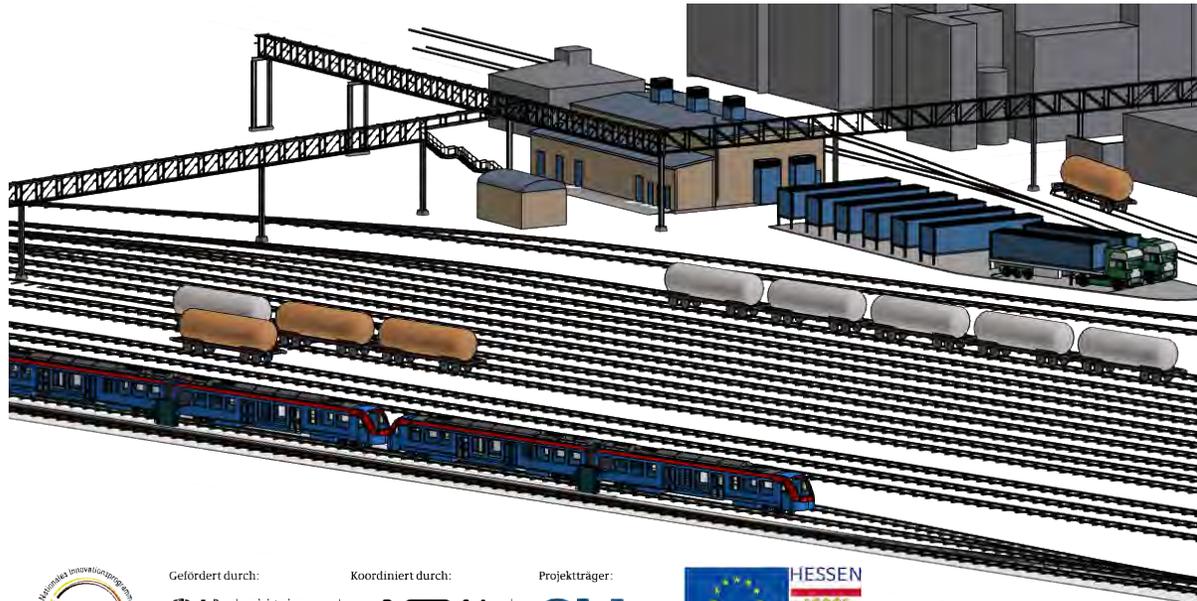
Das System der CO₂-Flottengrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge (07.05.2020); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)

https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/zusammenfassung_co2_flottengrenzwerte.pdf

Im Konsortium mit Alstom entsteht im Industriepark Höchst die erste Wasserstofftankstelle für Passagierzüge in Hessen

- Errichtung der Betankungsinfrastruktur inkl. Ausweichbetankung sowie Wasserstoffversorgung für 27 Alstom-Brennstoffzellenzüge Typ „Coradia iLint“
- Förderung der Investitionen im zweistelligen Mio. €-Bereich durch das BMVI und das Land Hessen

- Anzahl Züge im Umlauf: 24 + 3
- Züge zur Befüllung pro Tag: max. 17
- Wasserstoffbedarf: 2.000 - 2.400 kg pro Tag
675.000 kg pro Jahr
- Betankungsdauer: i.d.R. 15 min pro Zug
- Tankgröße Zug: 2 x 130 kg
- Betankungsdruck: 350 bar
- Reichweite: ca. 1.000 km



Sektorenkopplung und Wasserstoffherzeugung - das ist schon vorhanden.....

- AEL:
Alkalische
Electrolysis



10 MW AEL, Asahi Kasei, Fukushima (JP), 2019

- PEM EL:
Proton Exchange Membrane Electrolysis



6 MW PEM EL, Mainz Energiepark, 2018



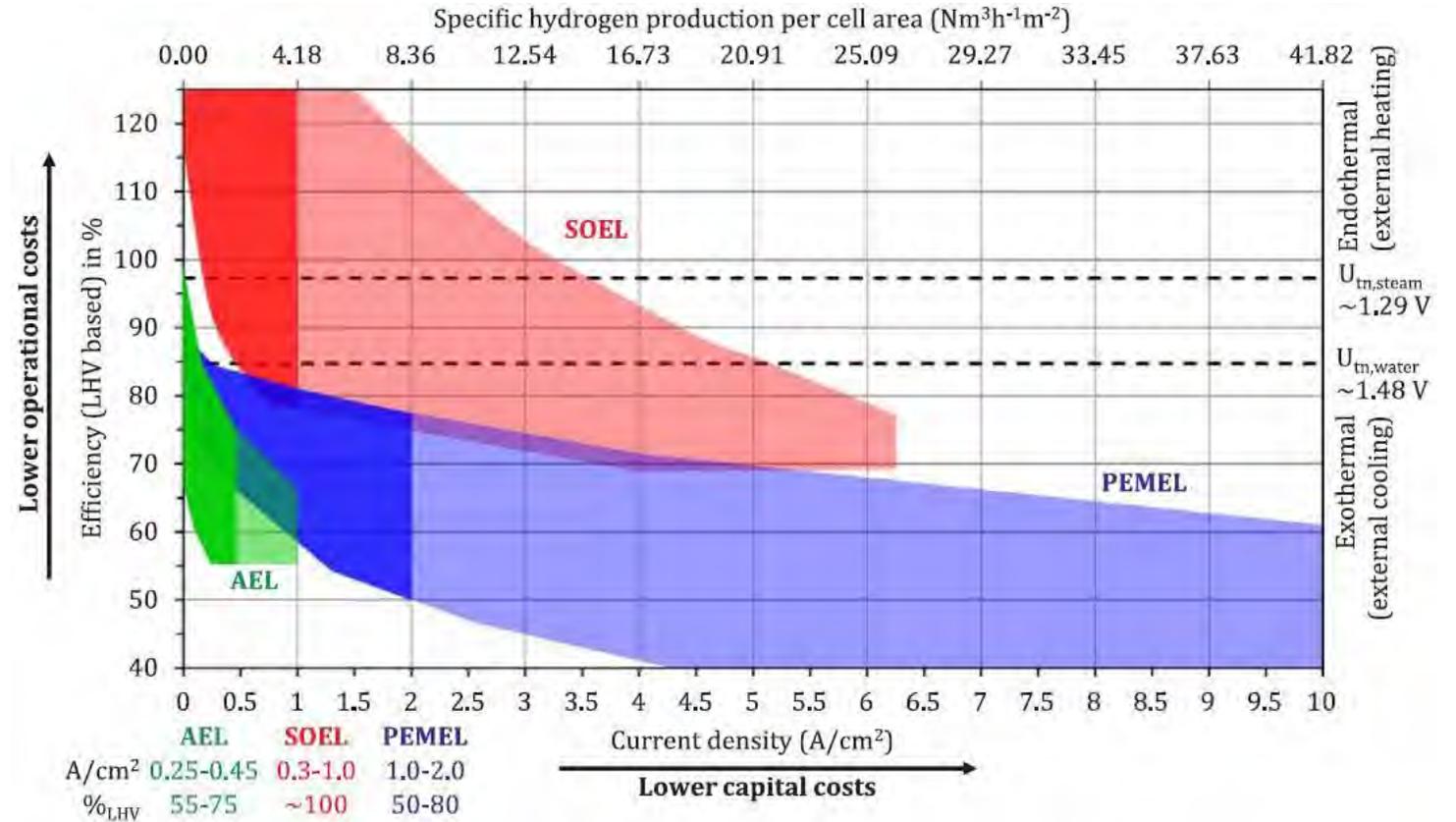
- SOEL:
Solid Oxide Electrolysis



720 kW AEL, Salzgitter, 2020

H₂ aus der Elektrolyse von Wasser – AEL, PEM EL, SOEL

- AEL:
 - + ausgereifte Technologie
 - + edelmetallfrei
 - Niedrige Leistungsdichten
 - Geringe Flexibilität
- PEM EL:
 - + Hohe Leistungsdichten
 - + Dynamischer Betrieb
 - + H₂ unter Druck
 - Edelmetall-Katalysatoren
- SOEL:
 - + hoher Wirkungsgrad
 - + edelmetallfrei
 - niedrige TRL
 - sehr hohe Temperaturen



...das muss noch realisiert werden.....

Buttler & Spliethoff, Ren.Sus.Energy Rev. 82 (2018), 2440-2454

Welche Fragen und Rahmenbedingungen sind zu beachten?

Welche Fahrzeugklasse?

Leichte Nutzfahrzeuge
Mittlere Nutzfahrzeuge
Schwerlast

Einsatzzweck (Fahrmuster)

Welche tägliche Strecke wird gefahren?
Wie oft wird gehalten?
Wie ist die lokale Topografie?
Sommer-/Winterbetrieb?
Menschen oder Waren,
Abfall oder Reststoffe?

Wartung Werkstatt
Aftersales

Infrastruktur?

Betanken/Befüllen/Laden/Oberleitung
Parken

Wie oft muss betankt/geladen werden
Bestehen die räumlichen Anforderungen
bzgl. Laden, Sicherheit?
Wieviel Ersatzfahrzeuge?
Eigene Infrastruktur?
Eigene Erzeugungsanlagen für „grünen“
Strom/ Elektrolyseur Pipeline?

SPEICHERUNG IN GROßEN BATTERIEN Z.B. CLEVER

- Unterstützung des Rüsselsheimer Verteilnetzes mittels stationärer Batterien
- Einsatz von unterschiedlichen Batterietechnologien sowie Erfassen und Auswerten von Betriebsdaten:
 - 1. Vanadium-Redox-Flow-Batterie
→ 200 kW / 475 kWh 26t,
 - 2. Lithium-Ionen-Batterie
→ 704 kW / 675 kWh 9t
- Implementierung einer übergeordneten Steuerung beider Speicher als Hybridsystem.



Bild 1: Bestellter Lithium Ionen Speicher



Bild 2: Bestellter Vanadium-Redox-Flow-Speicher

Energiepark Mainz – die Gesamtanlage



Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain

Windräder 4* 2 MW



Elektrolysehalle



H2-Speicher vor Ort:

26MWh bei 8MPa

oder 26

20-Fuß-Container
mit Lithiumionenbatterien

Einspeisung ins Erdgasnetz

QUANTRON WITH FULL RANGE VEHICLE PORTFOLIO

100% zero emission since inception

BEV & FCEV: the right technology for individual use case requirements



FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q2/2023
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(4.25 – 7.2 t)

BEV
Available TODAY
(6x2 28t)

BEV
Available TODAY
(4x2 44t / 6x2 65t)

FCEV
Available for orders TODAY
SOP Q3/2023
(4x2 44t / 6x2 65t)

BEV
Available TODAY
(12m low floor, city)

FCEV
Available on demand
(12m low floor, city)

BEV
Available TODAY
(4.25t)

FCEV
Available Q1/2024
(to follow)