

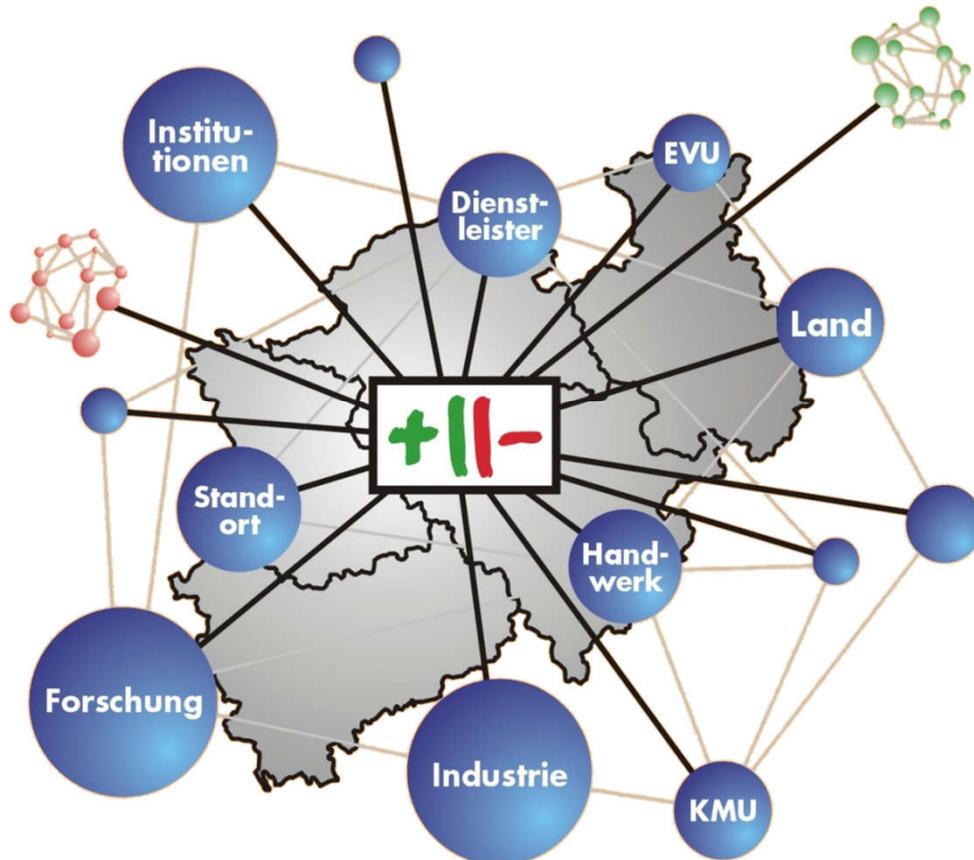


Wasserstoff – Energiespeicher und Kraftstoff für die E-Mobilität

Dr. Frank Koch

Senden, 19. September 2019

Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität (NBWE)



- Gegründet im April 2000 als Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff
- **Seit 03/17 Integration der seit 2009 laufenden Aktivitäten der Projektleitstelle Elektromobilität NRW**
- 500 Mitglieder (H2/BZ) und 140 Projektpartner (Emob)
- Elektromobilität: 60 Projekte mit einem Fördervolumen von ca. 60 Mio. € bei über 100 Mio. € Gesamtinvest
- H2/BZ: 140 Projekte mit einem Fördervolumen von ca. 170 Mio. € bei 260 Mio. € Gesamtinvest

Agenda

1

Grundlagen zu Wasserstoff

2

Energiewende und Wasserstoff

3

Wasserstoff in der Mobilität

4

Fakten und Mythen zum Wasserstoff

Wasserstoff (H₂) – Eigenschaften und Verwendung

Eigenschaften

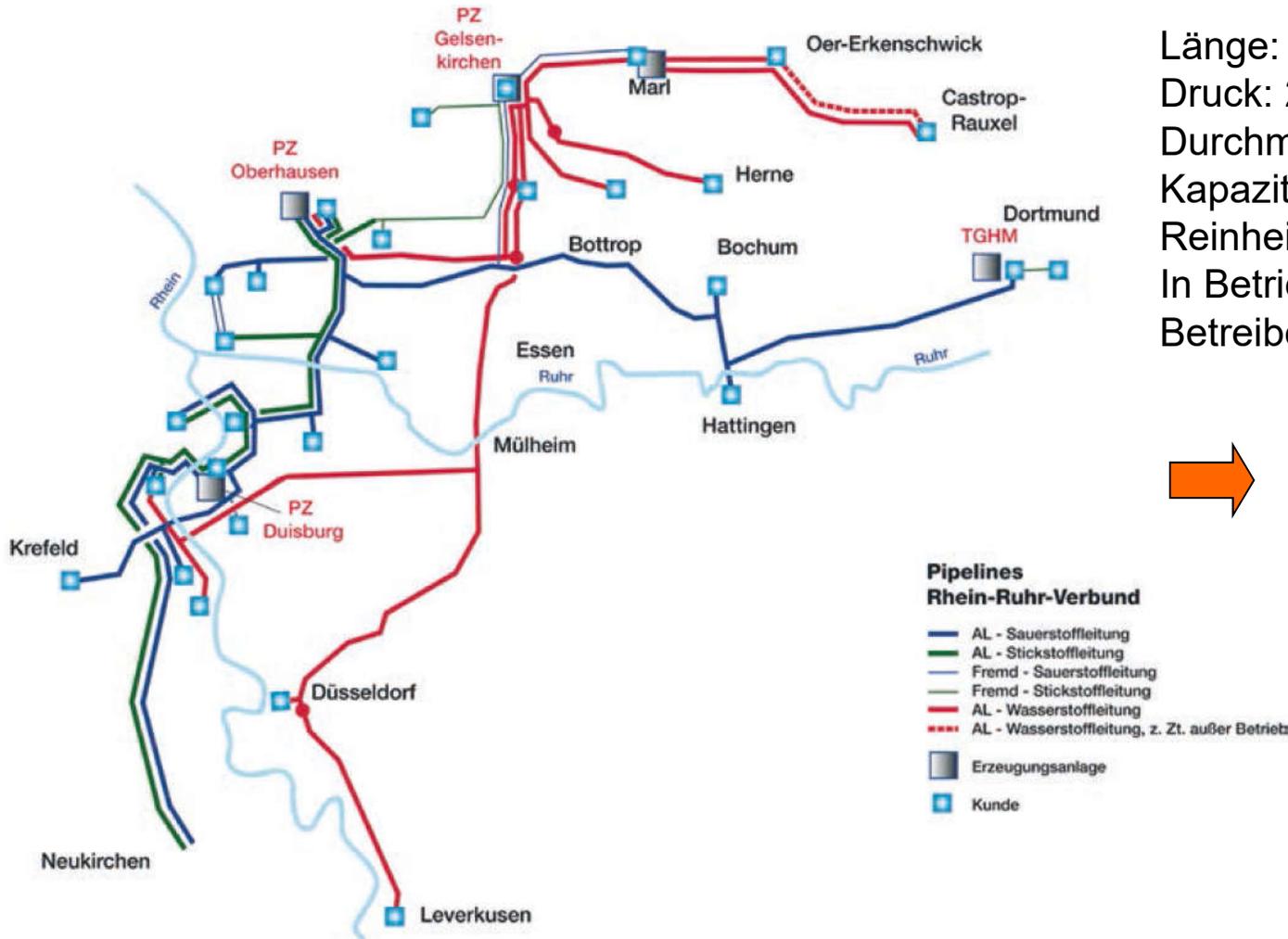
- Farb- und geruchloses Gas, ungiftig, nicht cancerogen
- Brennbar, leichter als Luft
- Sekundärer Energieträger, herstellbar aus Kohlenwasserstoffen (z.B. Erdgas) und per Elektrolyse (Strom)



Herstellung und Verwendung

- Wasserstofferzeugung weltweit:
 - 96 % fossil (Erdgasreformierung: Methan + Dampf → Wasserstoff und CO₂)
 - 4 % Nebenprodukt aus Chlor-Alkali-Elektrolyse (Kochsalz + Wasser → Chlor + Natronlauge + Wasserstoff)
 - Jährlich: 50 Mio. t oder 1.650 TWh weltweit (2 Mio. t in D, 1 Mio. in NRW = 33 TWh)
 - Überschuss laut Wasserstoffstudie NRW 2008: 35.000 t/a (aus Cl-Elektrolyse), ausreichend für 300.000 PKW oder 6.000 Busse
- Wasserstoff wird seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt
 - Chemische Produkte: Ammoniaksynthese (Düngemittel), Methanolsynthese (Kunststoffe)
 - Kraft- und Schmierstoffe: Hydrierung, Cracken; Margarineherstellung; Glasindustrie
 - Bedarf: zunehmend, u.a. durch Ersatz von Koks beim Hochofenprozess, synth. Kraftstoffe

Wasserstoff-Infrastruktur in NRW



Länge: 240 km
 Druck: 20 - 25 bar
 Durchmesser: DN 150 - DN 300
 Kapazität: 3,6 t/h
 Reinheit: > 99 %
 In Betrieb seit 1938
 Betreiber: Air Liquide

 Nukleus für weiteren
 Infrastruktur-Aufbau

Quelle: Air Liquide

Agenda

1

Grundlagen zu Wasserstoff

2

Energiewende und Wasserstoff

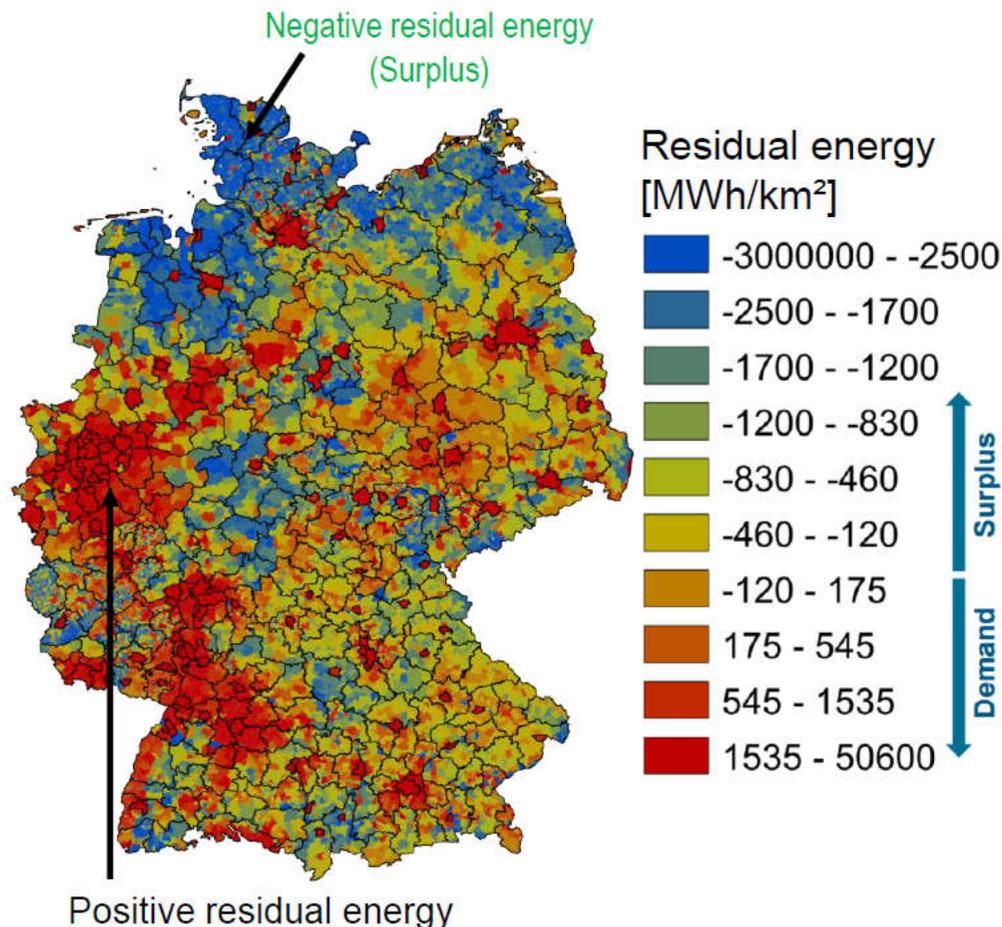
3

Wasserstoff in der Mobilität

4

Fakten und Mythen zum Wasserstoff

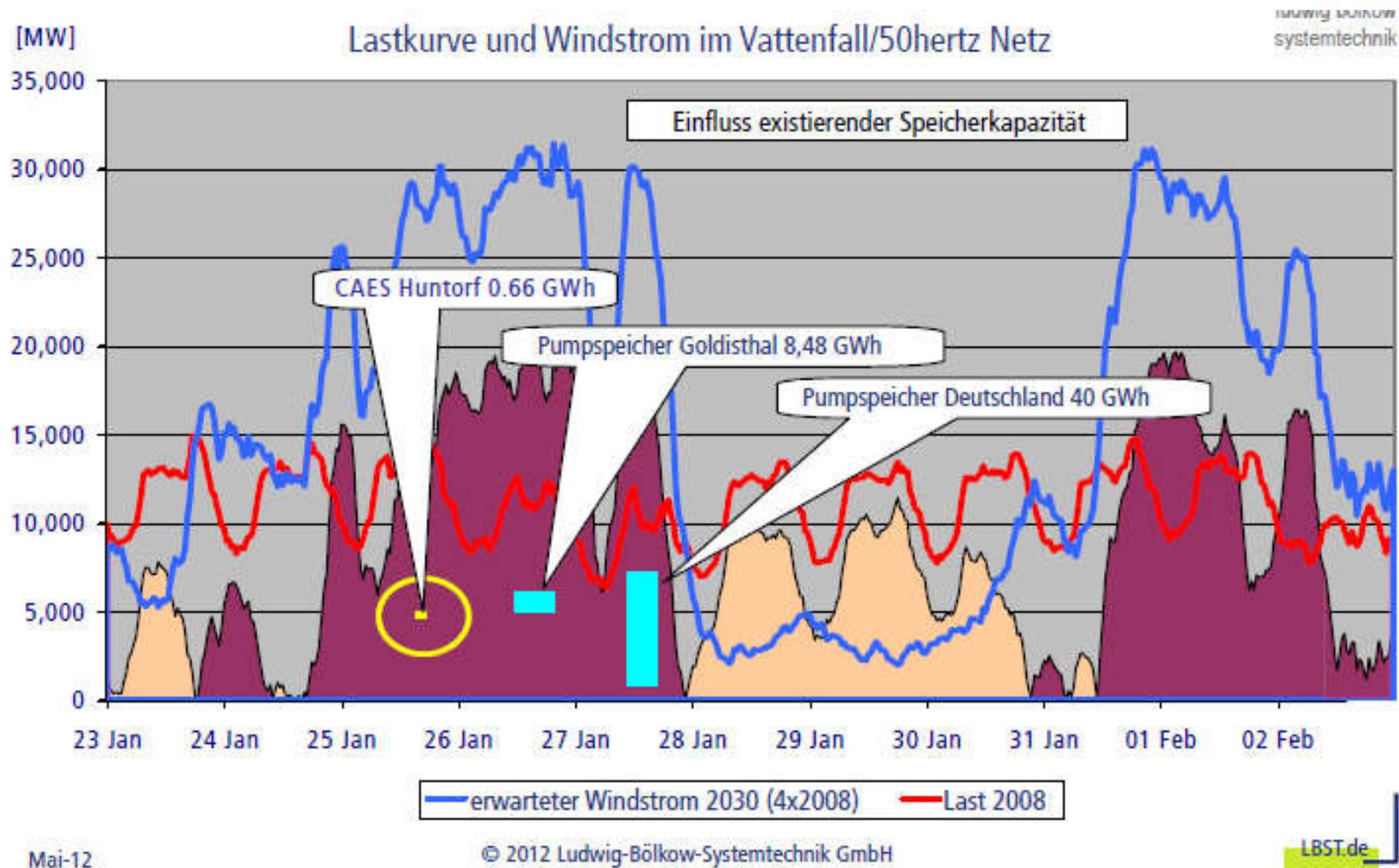
Erneuerbare Energieerzeugung ist regional konzentriert



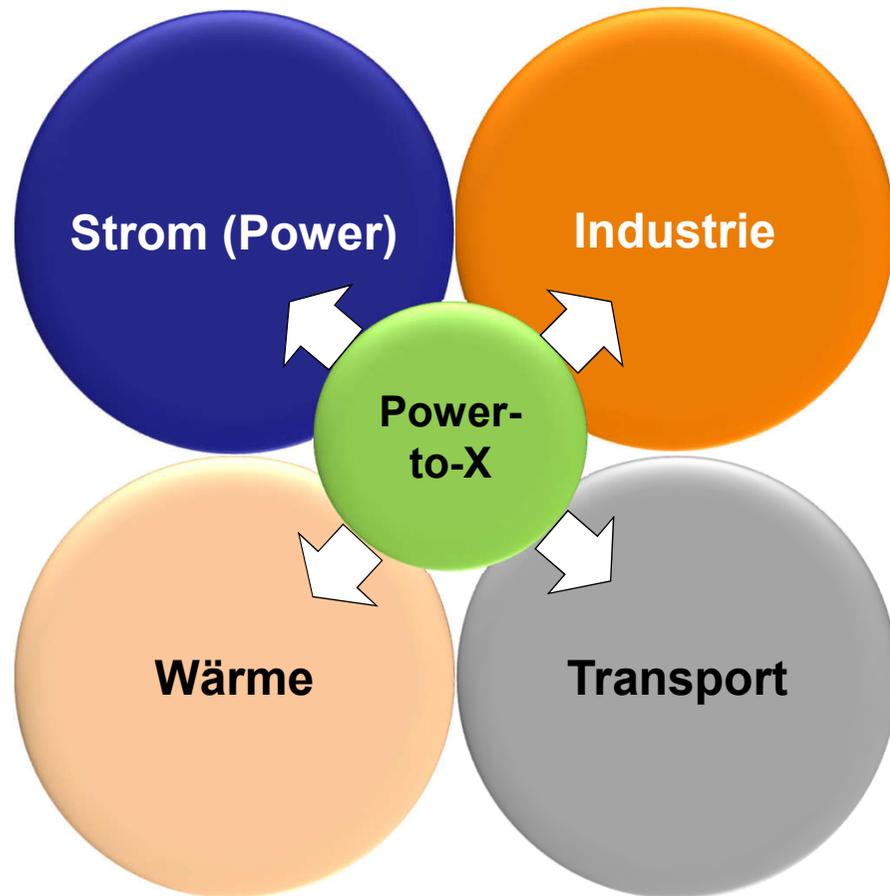
- Überschüsse vor allem durch im Norden installierte Windkraft
- Bei 80 % Stromerzeugung durch Erneuerbare kann der Überschuss bis zu 270 TWh betragen
- 90 TWh reichen aus, um H₂ für 20 Mio PKW (50 % der Fzg-Flotte) zu erzeugen
- Auch ein perfektes Stromnetz kann nur max. 50 der 270 TWh verteilen
- Speicherung unabdingbar!!!

Quelle: Fz Jülich

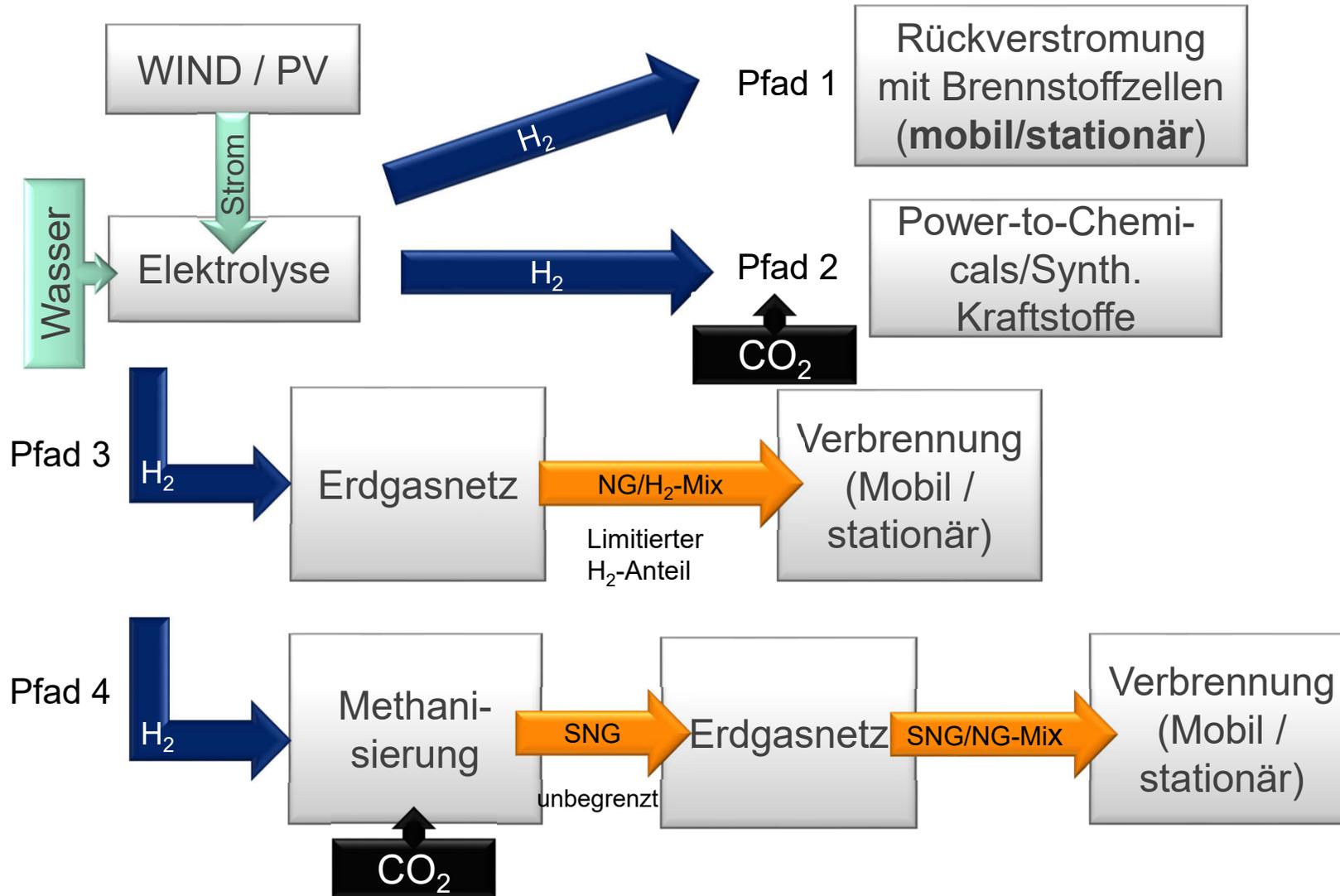
Zeitl. Ungleichgewicht von Erzeugung und Bedarf



Lösung: Sektorenkopplung über Wasserstoffproduktion „Power-to-X“



Power-to-Gas (Strom zu Gas)



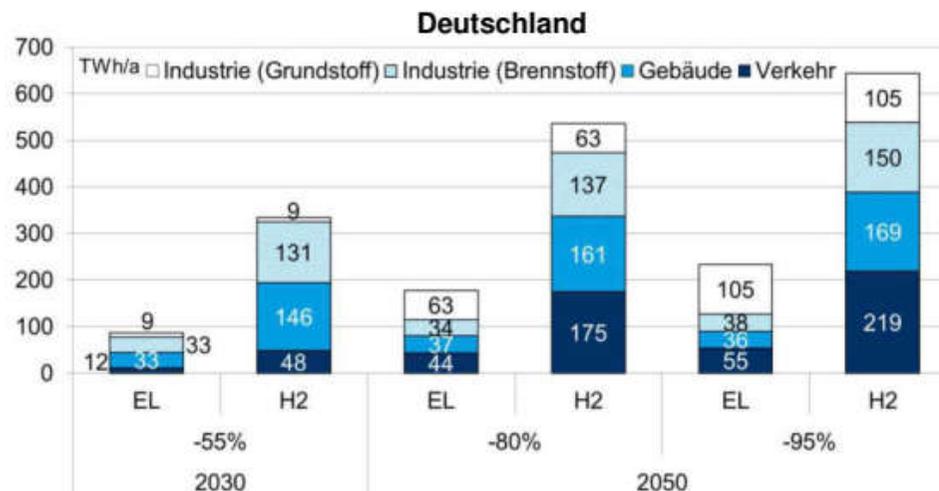
Power-to-Gas: Energiepark Mainz



- Betreiber: Stadtwerke Mainz, Linde
- Elektrolyse: Siemens, PEM, 25 bar, 6 MW_{el}
- Ziel: Industrie, Tankstellen, Einspeisung ins Gasnetz
- Betrieb: seit 07/2015

Künftiger Wasserstoffbedarf

- Starker Anstieg durch Nutzung im Verkehr (Brennstoffzellenfahrzeuge), Industrie (Ersatz CO₂-behafteter Industrieprozesse (z.B. Direktreduktion von Eisenerz mit H₂ statt Koks)) und Gebäudeheizung (durch H₂-BHKW/Thermen)
- Auch bei Fokus auf Strom wird H₂ benötigt (Grundstoff, Energiespeicherung, Nutzfahrzeuge)
- Jährl. H₂-Bedarf in D steigt je nach Szenario auf 233 bis 644 TWh = 7 – 20 Mio t (jetzt 2 Mio)



Wasserstoffbedarf (Quelle: LBST, Wasserstoffstudie NRW 2019)

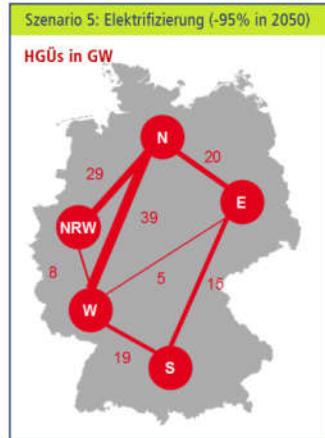
Energietransportkapazitäten



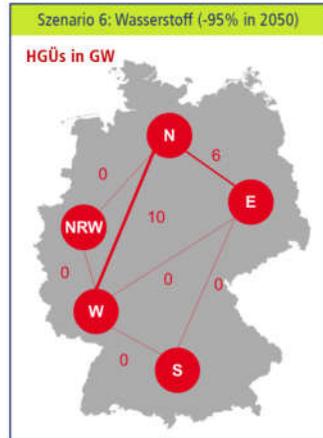
Eine Gas-Pipeline (\varnothing 1,20 m) transportiert so viel Energie wie **acht Hochspannungsleitungen** (mit jeweils 3 GW).

Quelle: Open Grid Europe

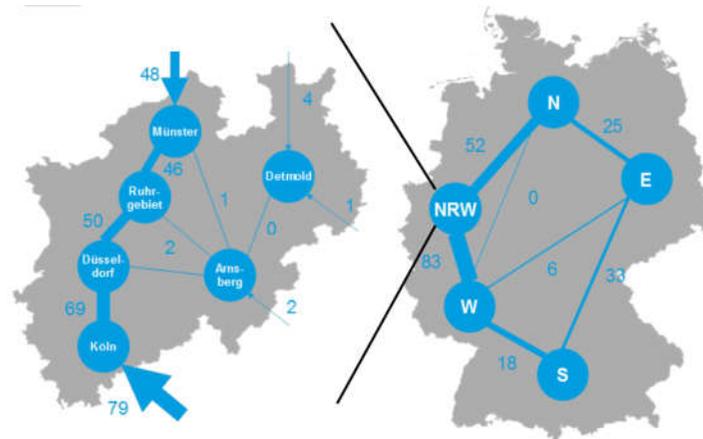
Ausbaubedarf an HGÜ / H₂-Pipelines



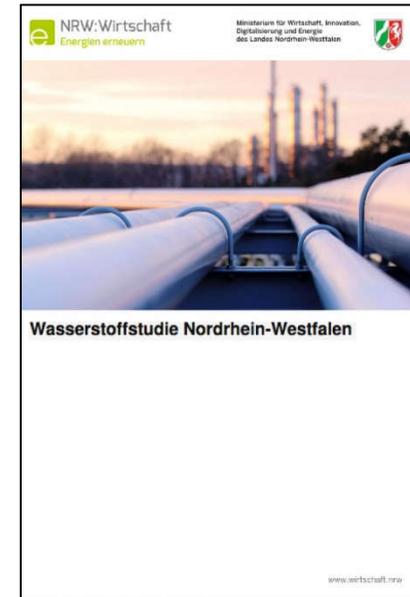
135 GW



16 GW



H₂-Gasleitungen in GW

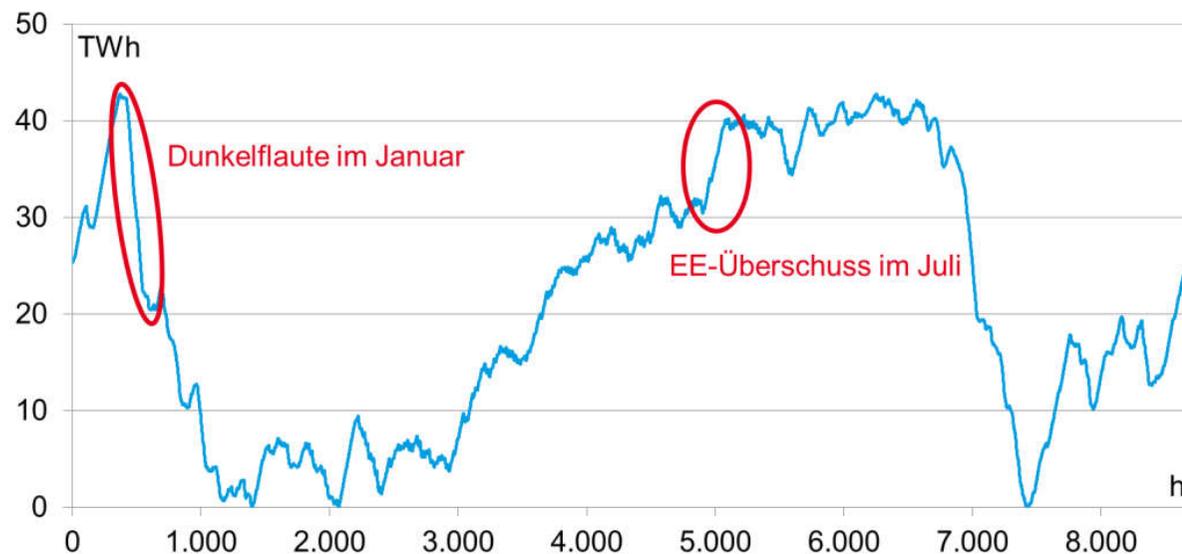


HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

Quelle: LBST; Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen, 2019

Saisonale Energiespeicher

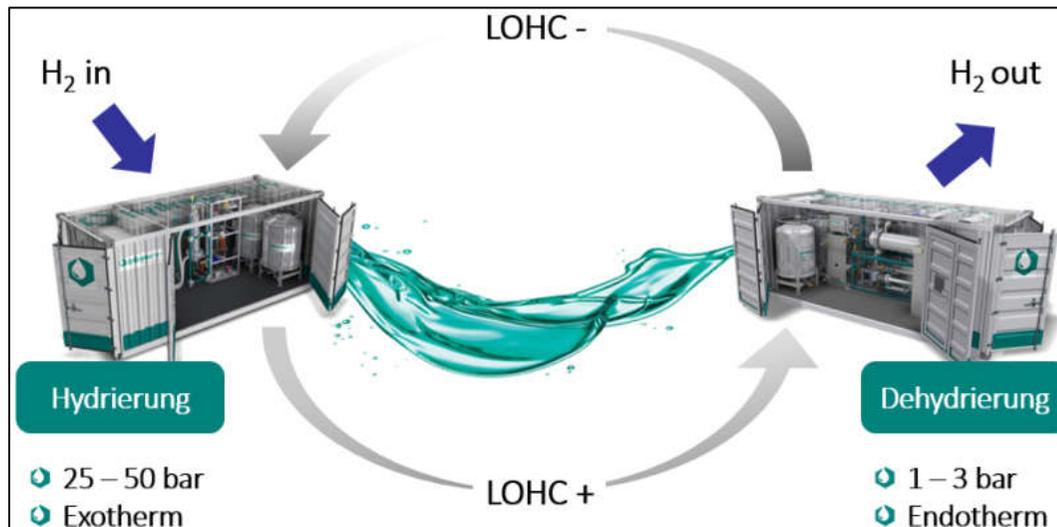
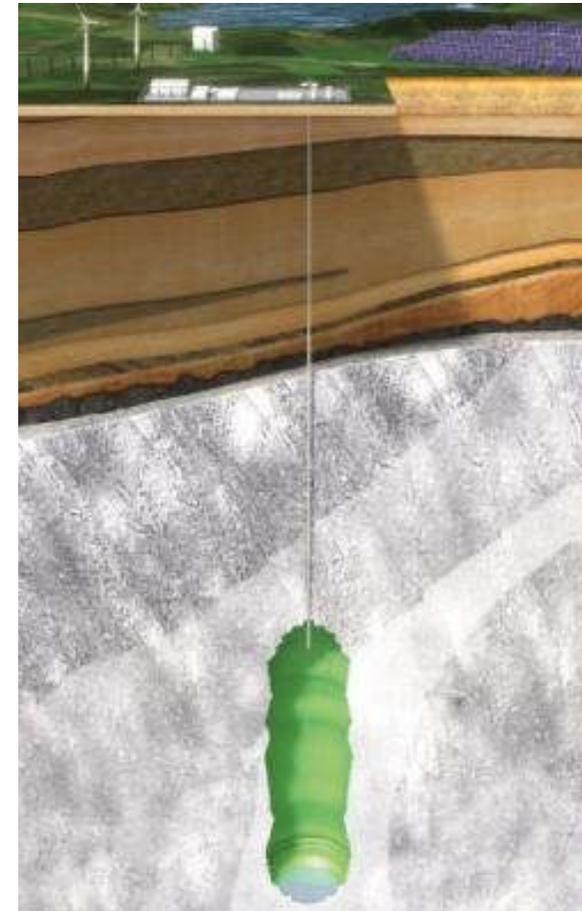
Füllstand der H₂ Speicher im Jahresverlauf



- Rapide Abnahme des Füllstandes bei Dunkelflaute durch Rückverstromung
- Auffüllung der Speicher bei EE-Überschuss

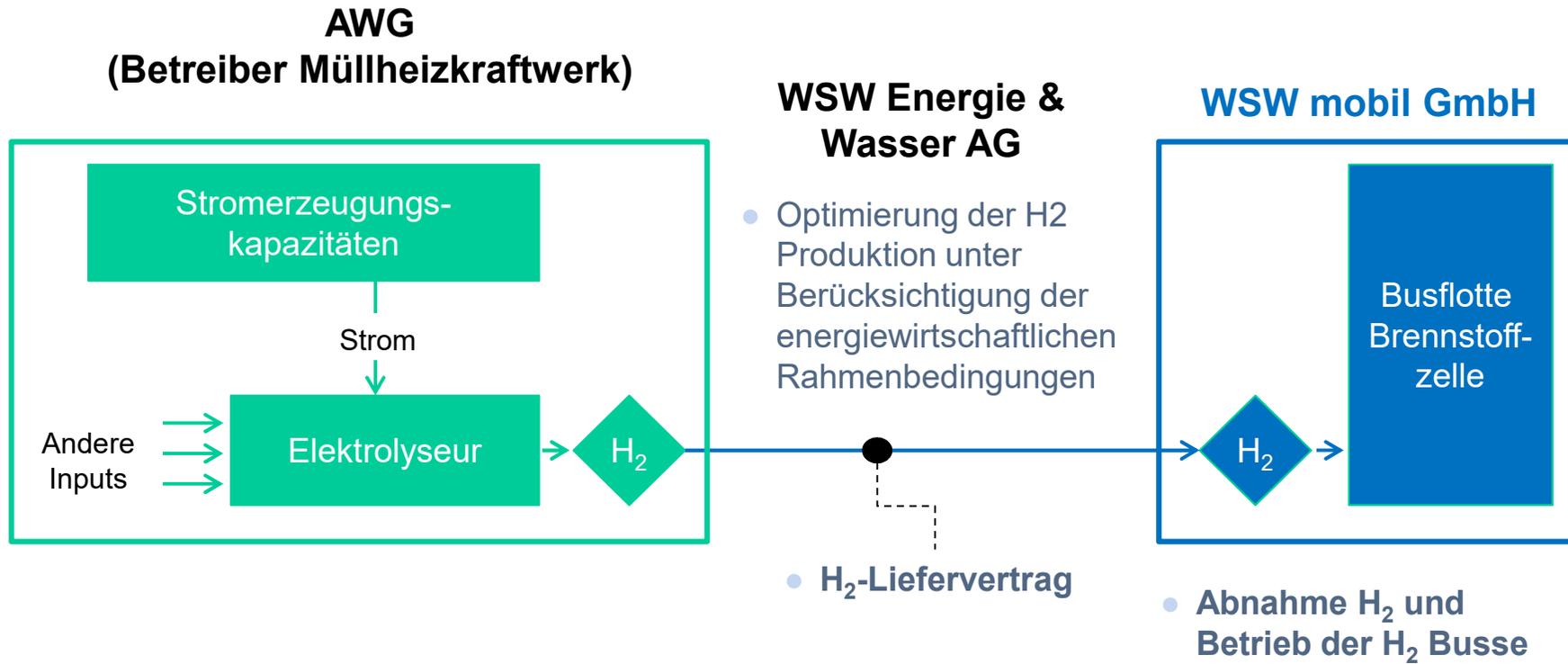
Quelle: LBST; Wasserstoffstudie Nordrhein-Westfalen, 2019

Speichermöglichkeiten für Wasserstoff



Quelle: Linde, Fraunhofer ISI, KBB, Hydrogenious

Business Modell für Stadtwerke: Eigenproduktion des Kraftstoffs (Wasserstoff)



Quelle: WSW mobil GmbH

Energieversorgungsstrategie NRW ab 2019

- **Hintergrund:** Wasserstoff ist als Speichermedium und für die Sektorenkopplung notwendig. Für den erfolgreichen Turnaround in der Mobilität sind Batterie- und später **Brennstoffzellenfahrzeuge** eine wichtige Voraussetzung.
- **Ziel:** Aufbau einer nachhaltigen Versorgungsinfrastruktur mit Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen
- **Maßnahmen:**
 - H₂-Roadmap (basierend auf der NRW H₂ Studie)
 - NRW Cross-border Kooperation (mit NL)
 - Innovative Infrastruktur Projekte zu H₂ und P-t-X



H₂ Modellregionen/kommunen in NRW

- Förderaufruf „H₂ Modellregionen/kommunen in NRW Wasserstoffmobilität“ in 2018: Förderung von 3 detaillierten Konzepten
- Komplementär zum nationale „HyLand“ sowie EU „H₂ Valley“ Programm
- Drei Gewinner wurden unter 10 Bewerbern ermittelt: **Köln, Düsseldorf und Kreis Steinfurt**



Köln mit Brühl, Hürth, Wesseling, Rheinisch-Bergischer-Kreis, Rhein-Sieg-Kreis; Düsseldorf mit Wuppertal, Kreis Neuss

Agenda

1

Grundlagen zu Wasserstoff

2

Energiewende und Wasserstoff

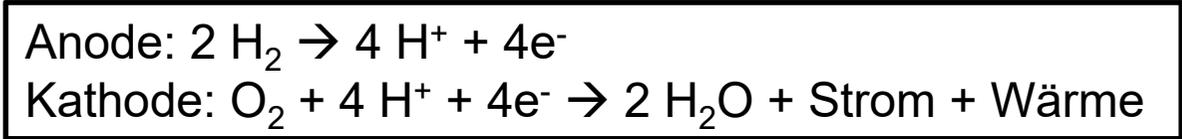
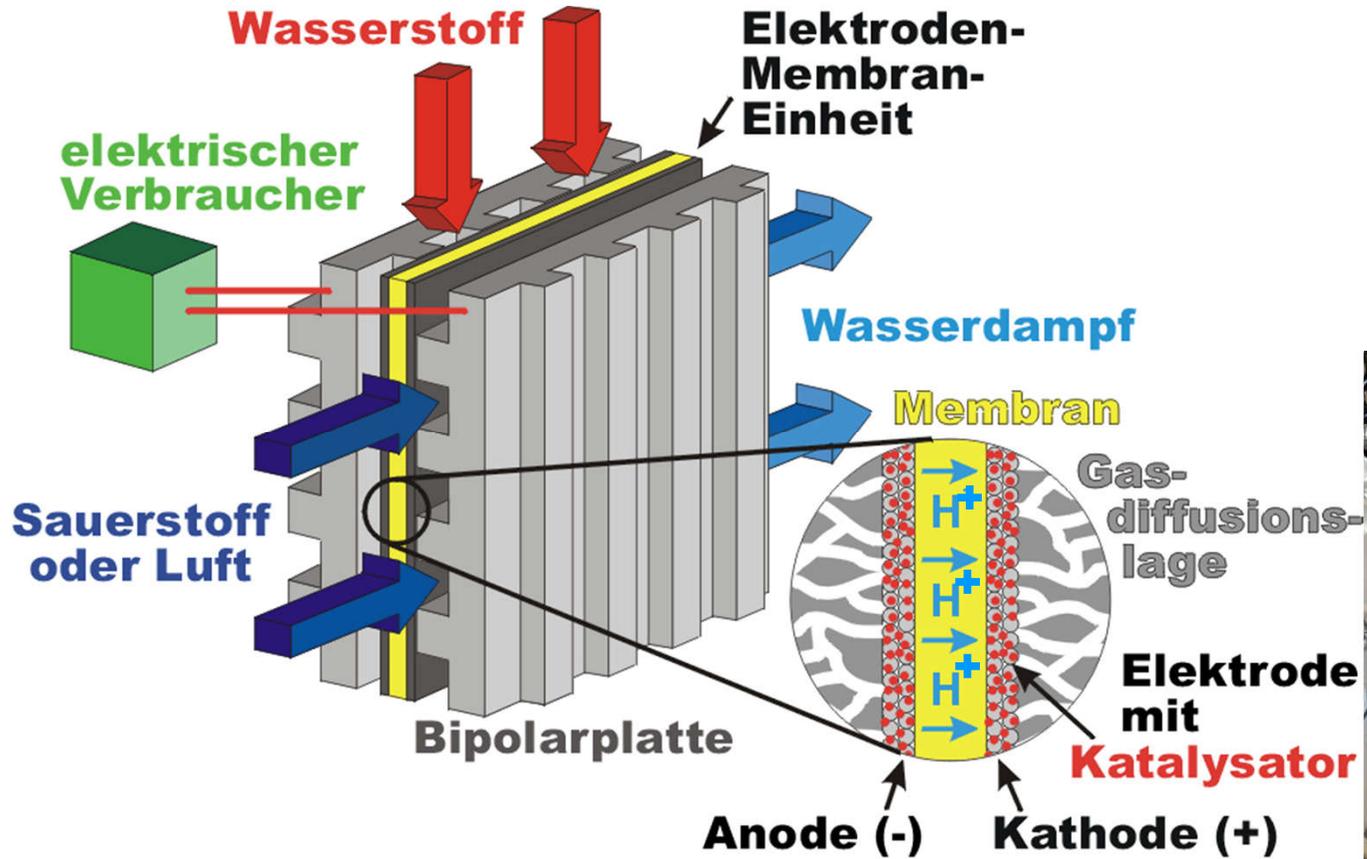
3

Wasserstoff in der Mobilität

4

Fakten und Mythen zum Wasserstoff

Aufbau einer Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (aka PEFC, auch Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle, aka PEMFC)



Warum Wasserstoff u. Brennstoffzellen in der Mobilität?

Ein Brennstoffzellen-Streetscooter werde zwar teurer als die bisherigen Modelle, rechne sich aber wegen der höheren Reichweite schnell.
„Wir haben das Thema Wirtschaftlichkeit klar im Blick.“

Prof. Kampker, Streetscooter, bizzenerergy

„Stattdessen glauben 78 Prozent der Befragten (Automanager), dass Fahrzeuge mit Brennstoffzelle den Durchbruch für emissionsfreien Transport darstellen werden.“
KPMG Studie

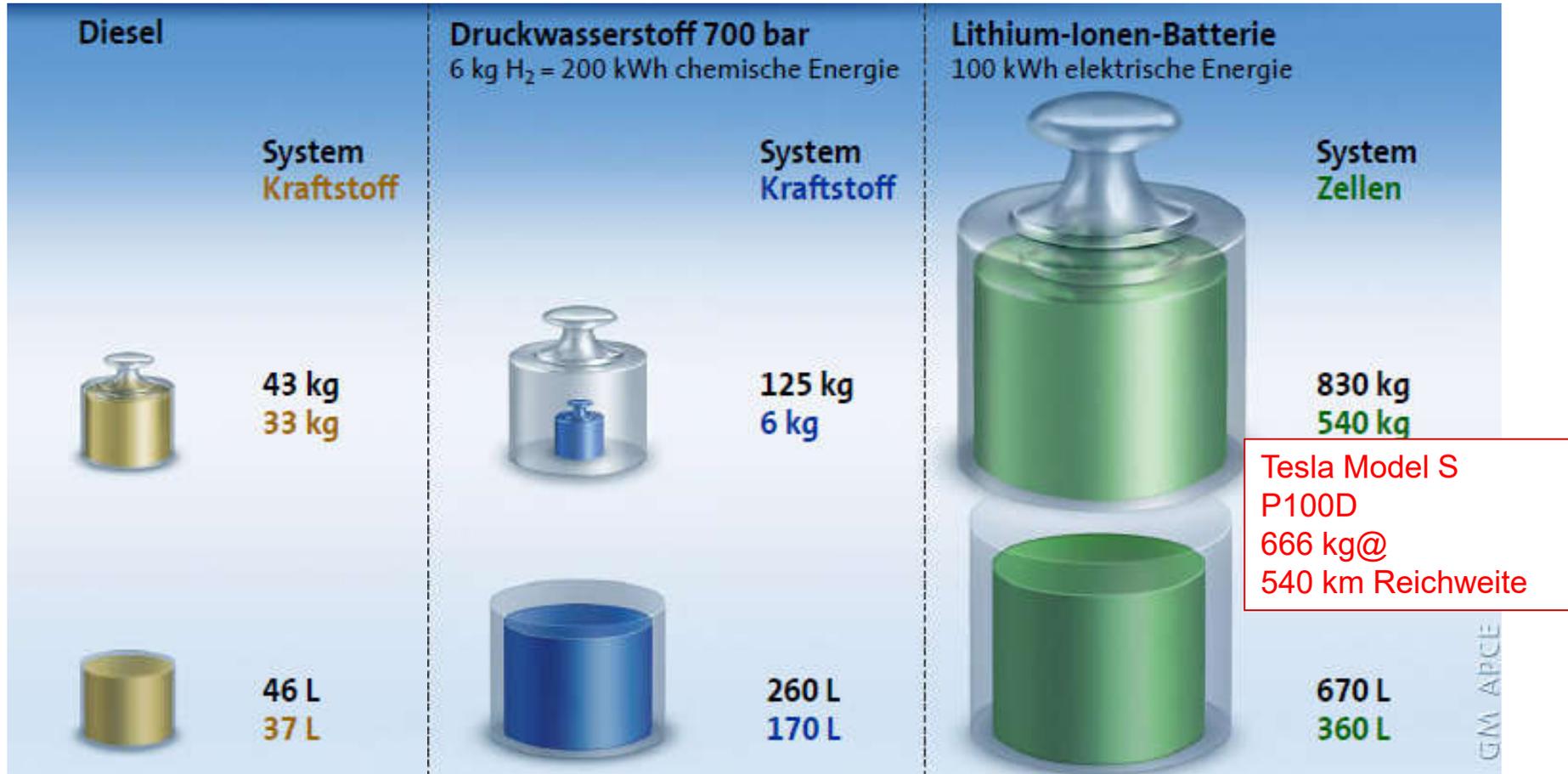
„Die Brennstoffzelle ist die ehrliche Lösung der Elektromobilität“
Prof. Schuh, e.GO mobile AG

„Erst die Brennstoffzelle wird das Elektroauto zu einem vollwertigen Antrieb ergänzen!“
Prof. von Unwerth, Lehrstuhl für Alternative Antriebe TU Dresden

„Wenn ein Hersteller im Pkw-Markt in den nächsten zehn Jahren verlieren will, dann sollte er voll und ganz auf Wasserstoff setzen“,
Prof. Ferdinand Dudenhöffer, Uni Duisburg

„Wasserstoff ist Unsinn“,
Herbert Diess, VW

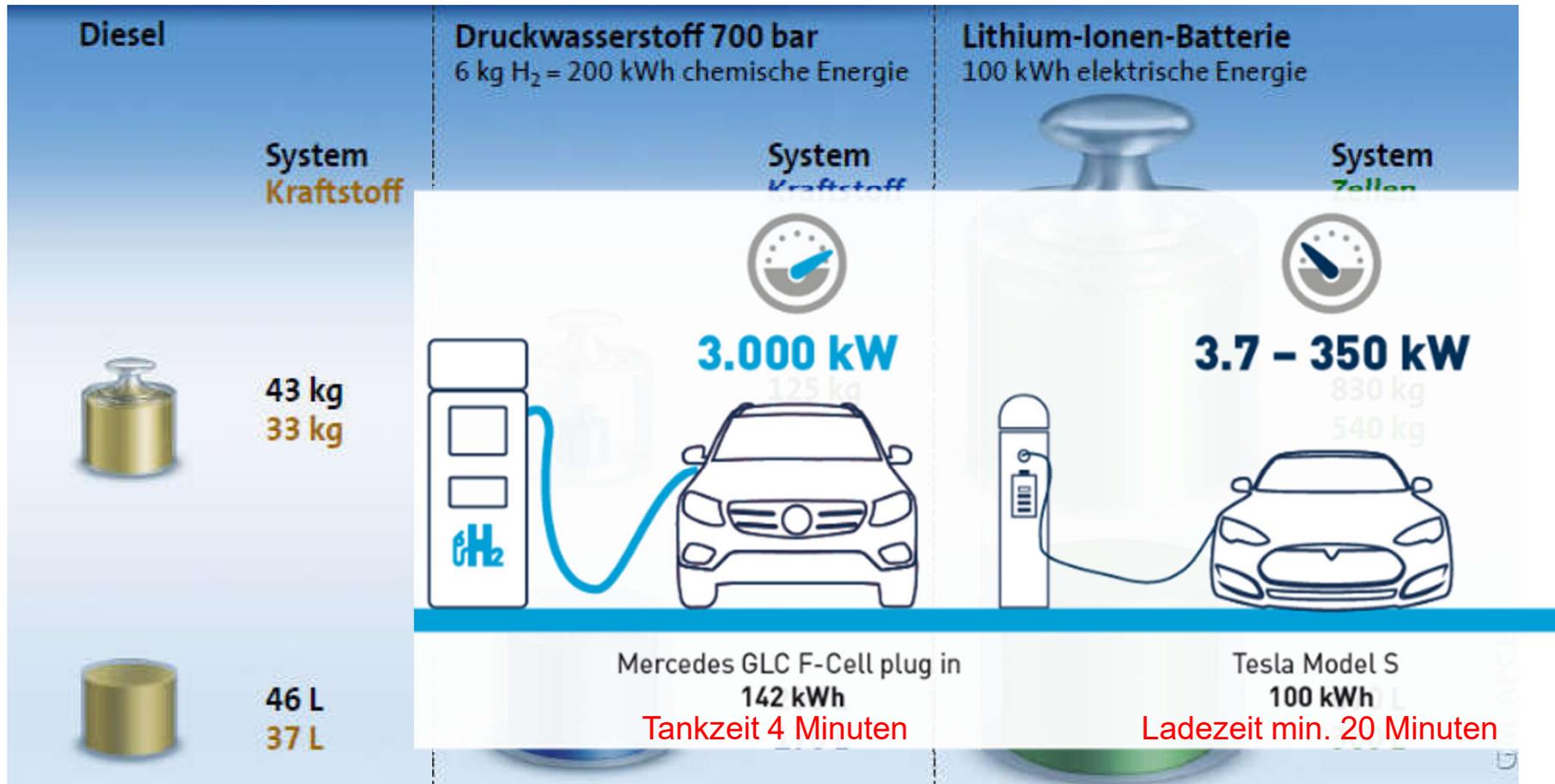
Brennstoffzellen in der Mobilität: Gewichtseinsparung



Quelle: GM Opel

Annahme: 500 km Reichweite

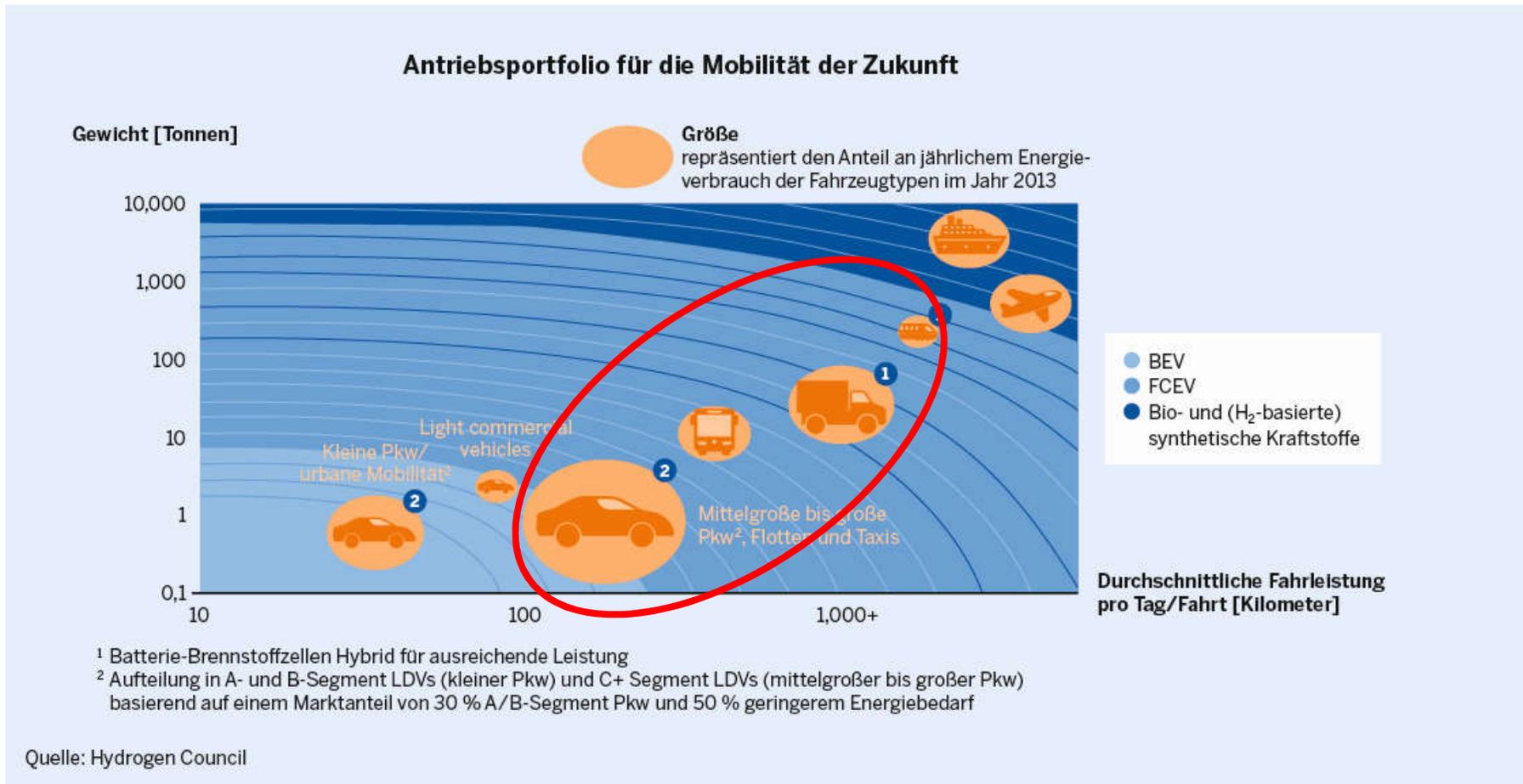
Brennstoffzellen in der Mobilität: Tank-/Ladezeiten



Quelle: GM Opel

Annahme: 500 km Reichweite

Wahl des Antriebs nach Gewicht und Reichweite



Status quo Brennstoffzellen in der Mobilität

- Alle größeren Automobilhersteller (auch VW) arbeiten an der Entwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen
- Erreichte Ziele:
 - Reichweiten um 500-700 km, Kaltstartfähigkeit -30 °C, auch im Winter emissionsfrei durch Nutzung der Abwärme unter annäh. Beibehaltung der Reichweite
 - Lebensdauer der Brennstoffzelle entspricht Fahrzeuglebensdauer (5000 h PKW)
 - Drastische Kostensenkungen durch Serienbau und Optimierungen erreicht

- Stückzahlen:

| | | China | European Union | Japan | Korea | United States |
|-----------|--------------|-------|----------------|-------|-------|---------------|
| Transport | FC Vehicles | 830 | 1.520 | 3.026 | 896 | 6.830 |
| | FC Busses | 270 | 73 | 18 | 2 | 35 |
| | FC Trucks | 500 | 16 | n/a | n/a | 3 |
| | MAT Handling | 2 | 397 | 160 | n/a | 20.000 |

Stand Anfang 2019

- Weltweit rd. 350 Wasserstofftankstellen, vor allem in Japan (91), USA (40), Deutschland (75), Europa (170)

Chinas „National Roadmap for FCEV“

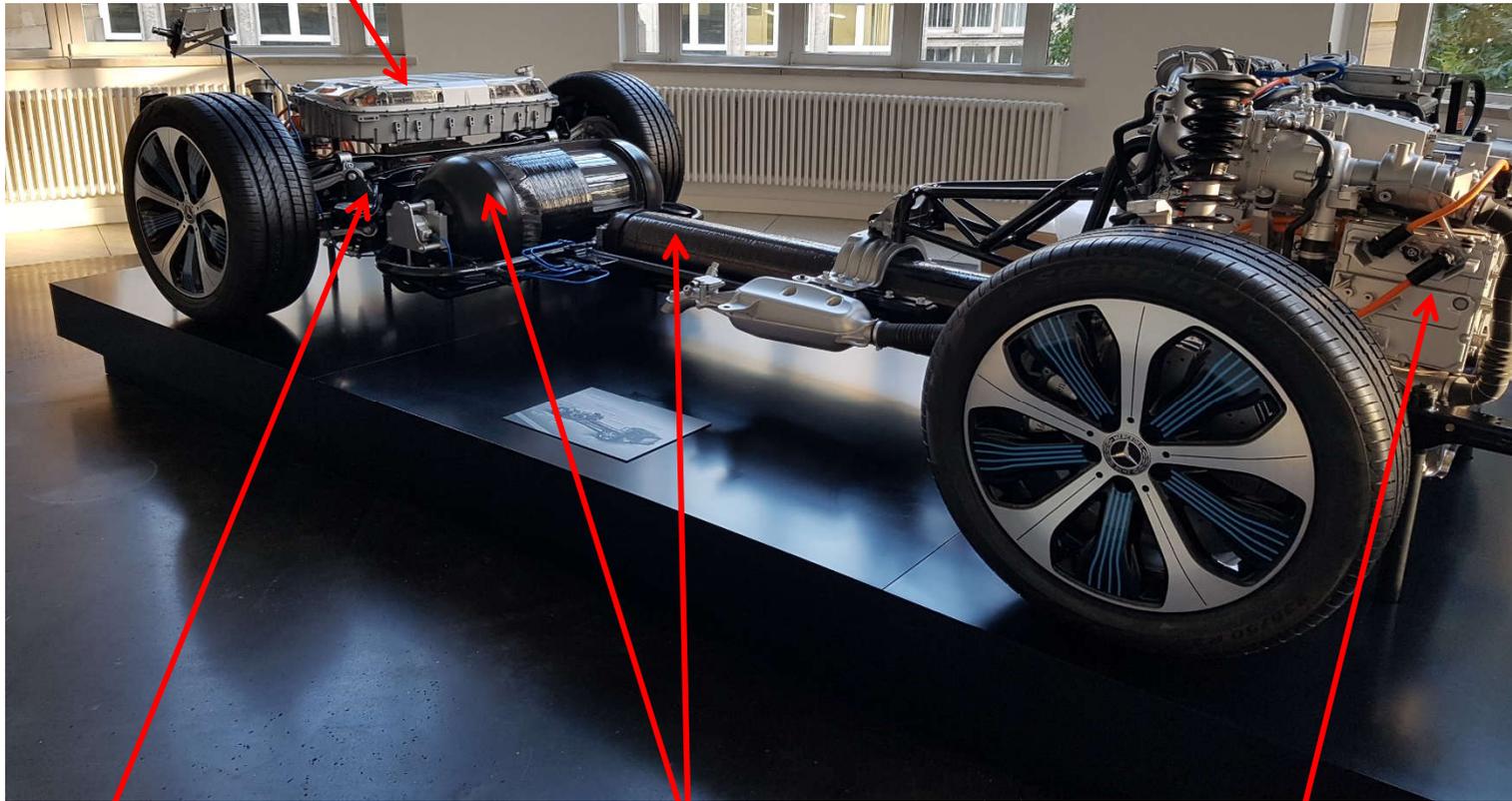
| | | 2020 | 2025 | 2030 |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|---|--|
| Overall Objective | | Small-scale public sector demonstration selected areas (5,000 FCVS) | Large scale deployment of FC passenger cars and service vehicles in urban areas (50,000 FCVs) | Large scale commercial deployment of passenger cars and commercial vehicles (one million FCVs) |
| | | Fuel cell system production capacity > 1,000 units per enterprise | Fuel cell system production capacity > 10,000 unit per enterprise | Fuel cell system capacity > 100,000 units per enterprise |
| Hydrogen Fuel Cell Vehicle | Functional Requirements | Cold start - 30 °C , power system structure optimization ,FCV cost close to all-electric vehicles | Cold start - 40 °C ,small volume production, FCV cost similar to hybrid vehicle | FCV overall performance comparable with traditional ICE vehicles-achieving competitive advantage |
| | Commercial Vehicle | Cost ≤ RMB 1.5 million (USD 223,000) | Cost ≤ RMB 1.0 million (USD 149,000) | Cost ≤ RMB 600,000 (USD 89,000) |
| | Passenger Car | Max speed ≥ 160 km/h Lifespan 200,000 km Cost ≤ USD 44,600 | Max speed ≥ 170 km/h Lifespan 250,000 km Cost ≤ USD 29800 | Max speed ≥ 180 km/h Lifespan 300,000 km Cost ≤ USD 26800 |
| Key Components | | Key system component (incl. high speed oil-free air compressors hydrogen recirculation system ,and 70 Mpa hydrogen cylinders) to meet vehicle specifications ; | | System cost below USD 29.8 /kW |
| H2 Infrastructure | H2 Supply | Decentralized hydrogen production from renewable sources ; industrial by-products Such as coke-oven gas | | Decentralized H2 production from renewable sources |
| | H2 Delivery | High pressure hydrogen storage and delivery | Cryogenic liquid hydrogen delivery | High density organic liquid hydrogen storage and delivery at normal pressure |
| | HRS | 100 stations | 350 stations | 1,000 stations |

Ziele in den Provinzen deutlich ambitionierter

Quelle: Trendbank

Brennstoffzellenantriebsstrang des Daimler GLC

Batterie

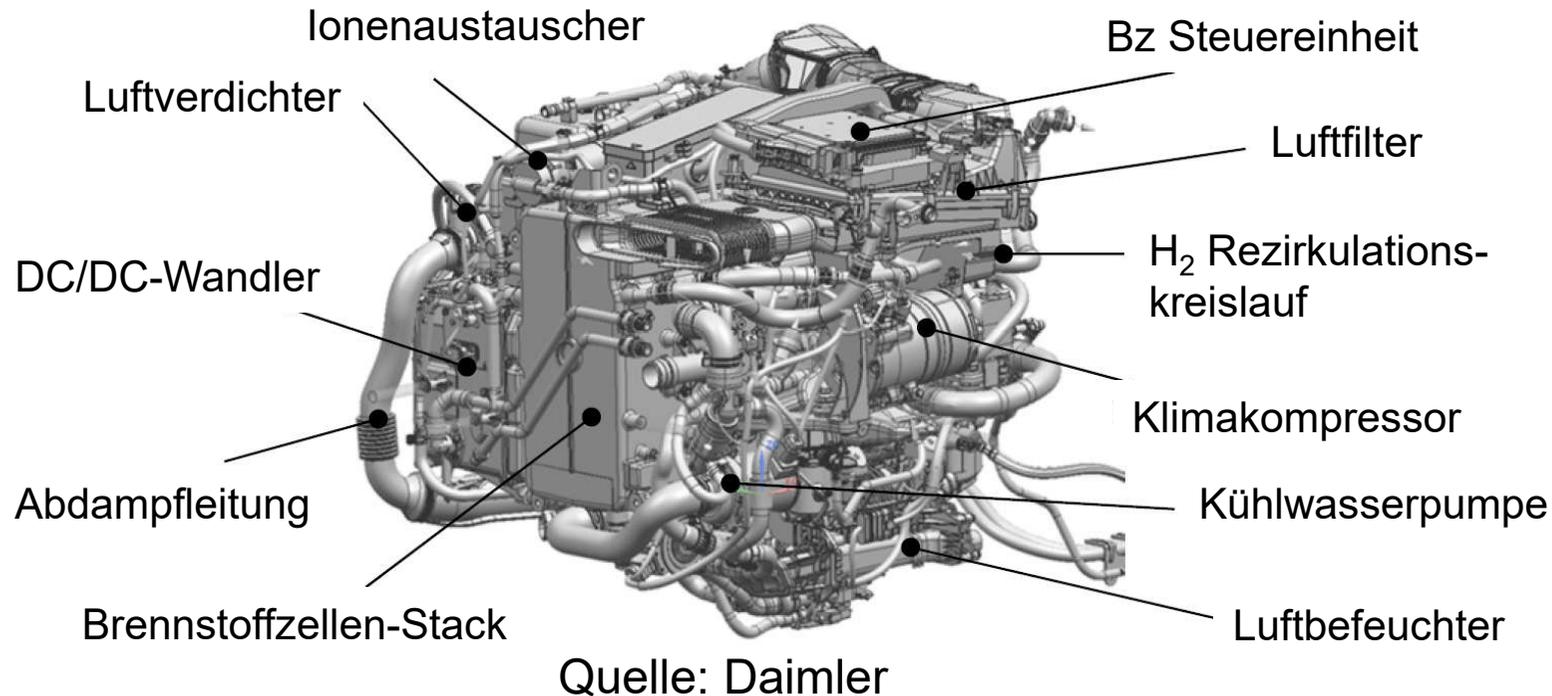


E-Motor

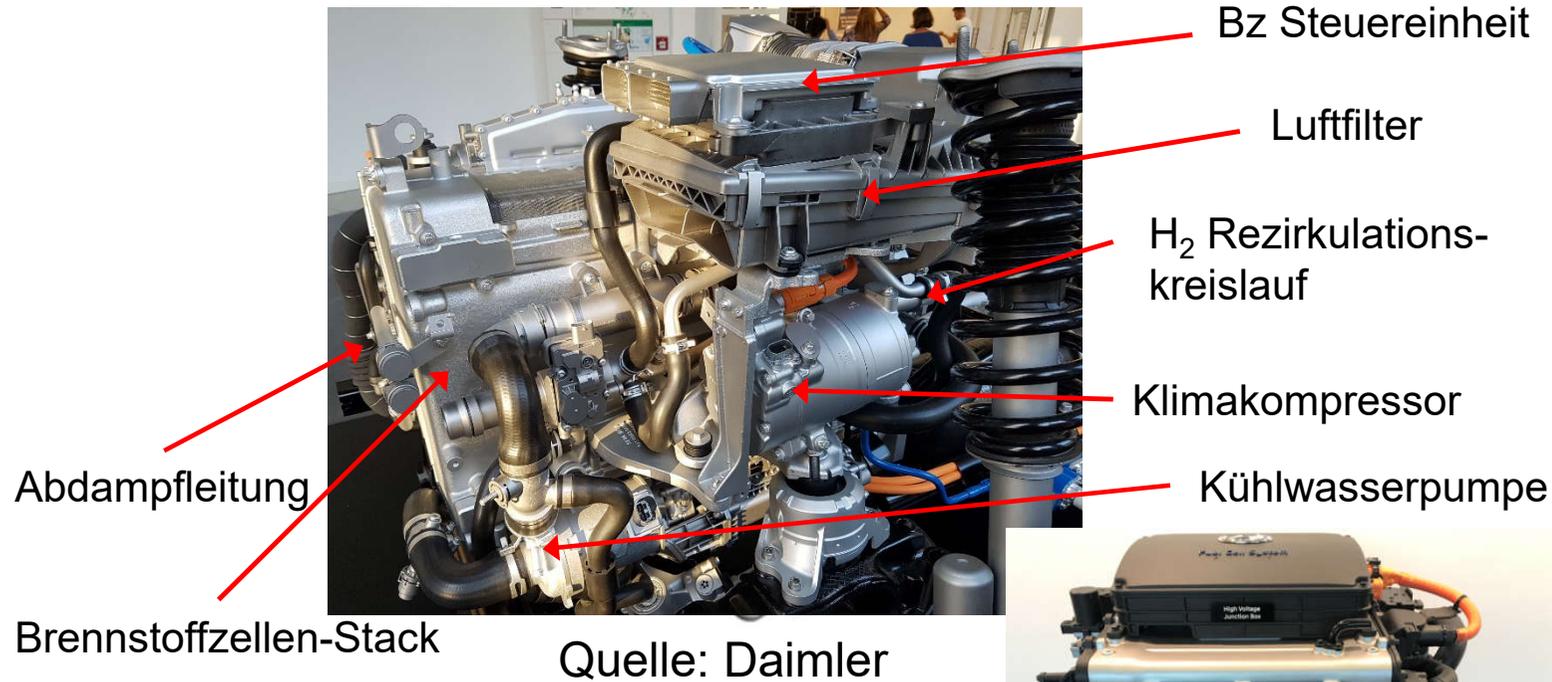
H₂-Tanks

Bz-“Motor“

Brennstoffzellen-“Motor“ als Chance für die deutsche Zulieferindustrie



Brennstoffzellen-“Motor“ als Chance für die deutsche Zulieferindustrie



Bereits 40 Zulieferer aus NRW bauen Bz-Komponenten und liefern bis nach Fernost



Foto: Hyundai

Beispiele Brennstoffzellen-PKW



Mercedes GLC
Brennstoffzelle als Range-Extender (REX),
430 (350) km Reichweite (+50 km mit Batterie), 2,1 to
(Mercedes EQC, 450 km Reichweite, 2,5 to)



Toyota Mirai, 350 km Reichweite, 1,8 to



Streetscooter Work L mit Bz-REX ab 2020
500 km statt 167 km Reichweite



Hyundai Nexo
650 km Reichweite, 1,8 to

Car Sharing / Ride Pooling

CleverShuttle

- Start Sommer 2017 in Hamburg
- Beginn mit 20 Fahrzeugen
- Aufstockung auf 45 Fahrzeuge, neue Standorte in München und Stuttgart
- Zwischenbilanz 2019 nach 15 Monaten:
 - 1.000.000 Kilometer
 - 170.000 Fahrgäste



Brennstoffzellen-Busse



Solaris



Van Hool (ab 2019 bei RVK und WSW)



Wright Bus



Toyota SORA 10
(Tokio seit 2018, 100 Fahrzeuge für Olympia 2020)

Neue Urbane Mobilität

e.Go Mover

- Entwicklung an der RWTH Aachen
- 60 kWh Batterie
- Bz Range Extender 22-30 kW
- 15 Passagiere
- Einsatzdauer 10 h
- Autonomie Level 4
- Derzeit in der Entwicklung
- Vorstellung Ende Juni 2019
- Ziel: 15.000 Fzge ab 2021



Quelle: e.Go Move GmbH

Leichte Nutzfahrzeuge



Quelle. DHL

- DHL Kastenwagen mit Bz-Range-Extender auf Basis Ford Transit
- 500 km statt 200 km Reichweite der Batterieversion
- Serienfertigung beginnend in 2019, gebaut bei Ford in Köln

Schwere Nutzfahrzeuge



- Esoro Truck
- In Betrieb bei Coop Schweiz seit 11/16
- Reichweite 400 km



- Nikola Two
- Reichweite 750-1.200 km
- 240 kW Brennstoffzelle
- 8.000 Vorbestellungen (800 Anheuser-Busch)
- Europavariante Nikola Tre



- Hyundai Truck
- Reichweite 400 km
- 190 kW Brennstoffzelle
- Kühltransporter f. Lebensmittel
- 1.600 Fahrzeuge ab 2020 für die Schweiz

Stadtbetriebe: Bz- Müllsammler



- Faun Brennstoffzellen-Müllsammler
- Energiebereitstellung für Antrieb und Presse
- Erfüllung der Nutzlastanforderung von 10 to
- Prototypen im August, Verkauf ab Ende 2019
- Kehrmaschine in Entwicklung, Test im Herbst 2019

Interreg 
North-West Europe
HECTOR
European Regional Development Fund

7 Bz-Müllsammler in 7 Städten
2019-2023

Brennstoffzellen-Triebwagen



- Bz- Triebwagen (ALSTOM CORADIA iLINT)
- Bis zu 38 % Energieeinsparung im Vergleich zu Diesel
- Je nach Topografie max. 1000 km Reichweite
- 1. Linienbetrieb in Norddeutschland gestartet (Bremerhaven-Buxtehude)

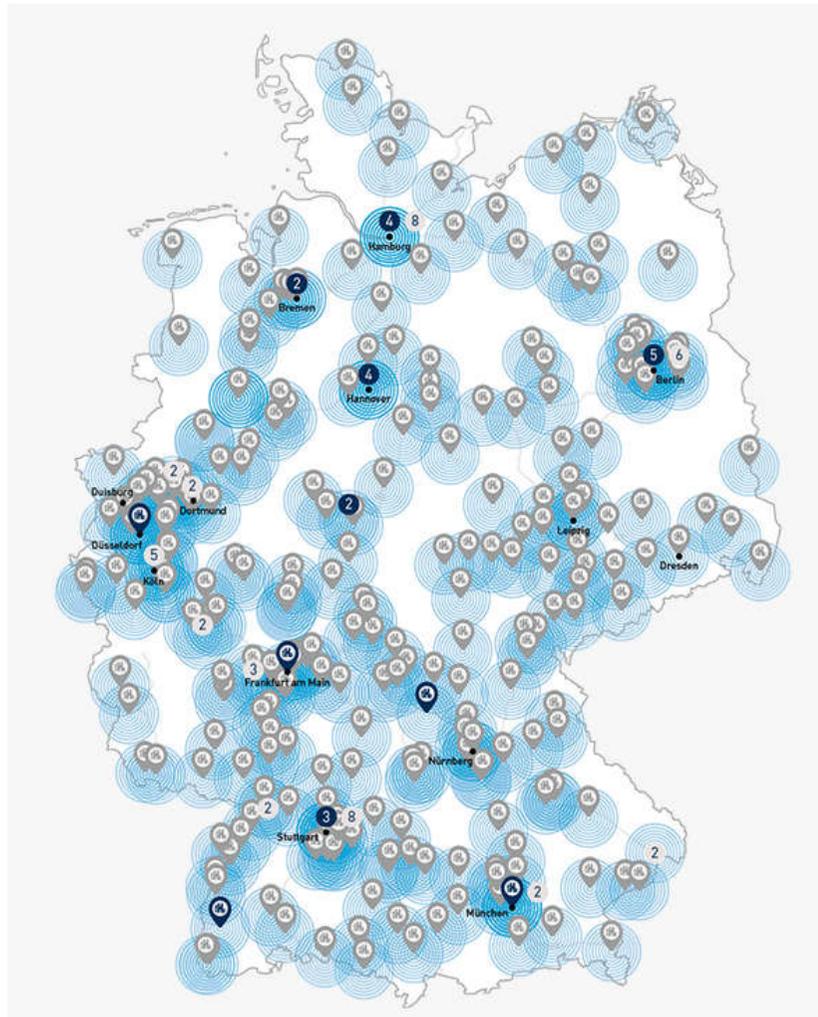
Intra-Logistik



Quelle: H2 Intradrive

- Brennstoffzellengabelstapler und -schlepper
- Entfall der Lade- oder Batteriewechselzeiten (<1 Min. Tanken i. Vgl. zu 15 Min. Wechseln, 600 g H₂ f. 33 h Betriebszeit) → deutlich höhere Nutzung der Fahrzeuge während Schicht
- Indoor-Betankung möglich
- BMW setzt ca. 80 H₂-Stapler im Werk Leipzig ein, Daimler 3 im Sprinterwerk D'dorf

Geplante H₂- Tankstelleninfrastruktur in Deutschland



H₂Mobility Deutschland GmbH

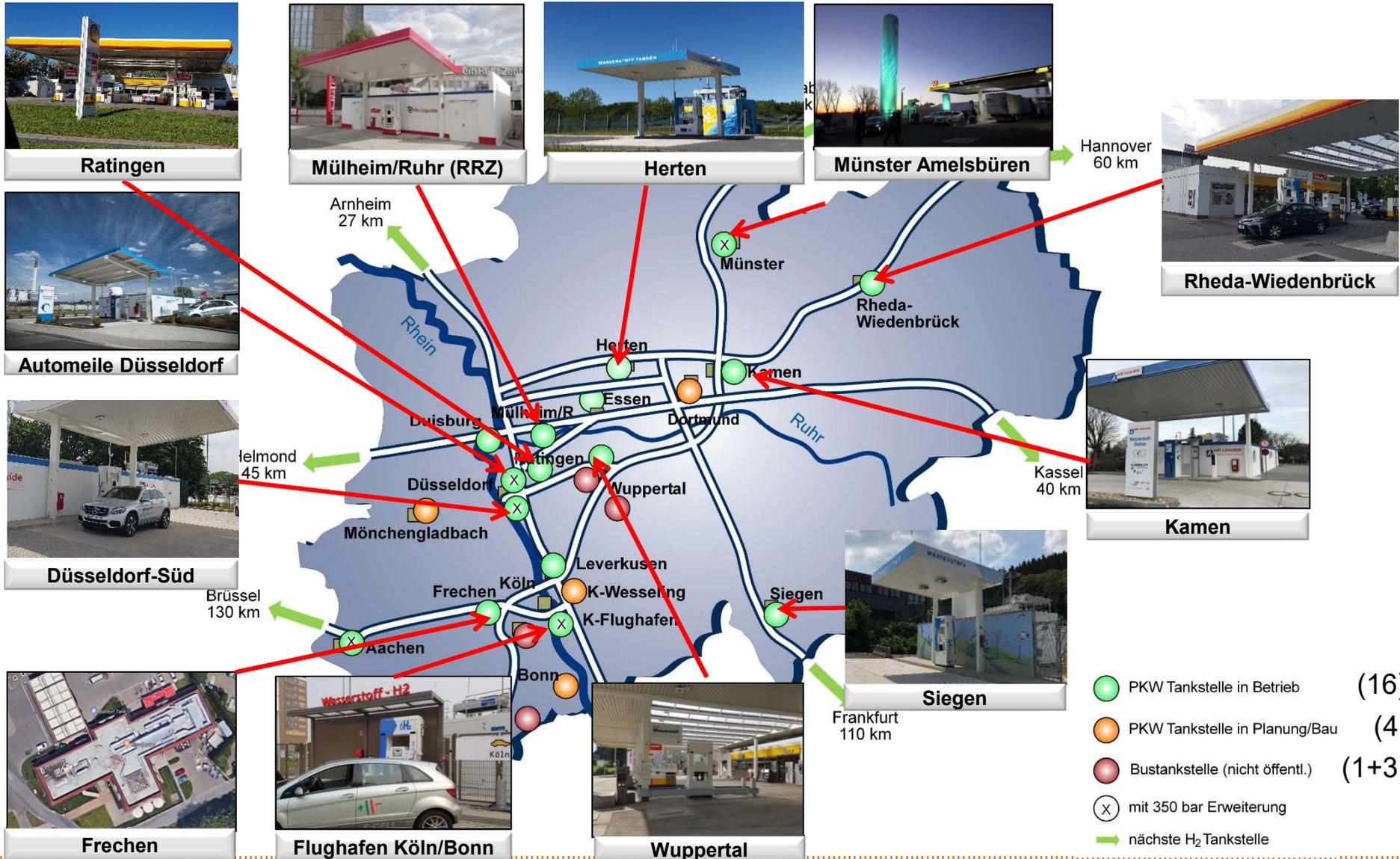
- 400 Tankstellen bis 2023,
ca. 100 bis Ende 2019
- Kosten 350 Mio. €
- Alle 90 km an den Autobahnen



DAIMLER



Wasserstofftankstellen in NRW



Wasserstofftankstellen in NRW

H2.Live im Google Playstore und im App Store

Summary:
 110 V Tankstelle in Betrieb
 6 V Tankstelle in Planung/Bau
 51 Bustankstelle (nicht öffentl.)
 1 mit 350 bar Erweiterung
 3 nächste H2 Tankstelle

Station Locations:
 Ratinger, Automeile Düsseldorf, Düsseldorf, Frechen, Herten, Rheda-Wiedenbrück, Kamen

Landesprogramm „Emissionsarme Mobilität“

**Elektrofahrzeuge
 (Fahrzeugklassen
 L6E, L7E, M1, N1, N2
 sowie
 E-Lastenfahrräder)**

Kommunen

Elektrofahrzeuge BEV:

- bis zu 40% der Anschaffungskosten, max. 30.000 €

Elektrofahrzeuge FCEV:

- bis zu 60% der Anschaffungskosten, max. 60.000 €

Leasing und Langzeitmiete (mind. 1 Jahr)

- Zuschuss analog zu Kauf, max. bis Höhe Anzahlung

Unternehmen (für BEV und FCEV)

- 4000€ für Klasse M1 und N1 (<2,3 Tonnen)
- 8000€ für Klasse N2 und N1 (>2,3 Tonnen)

Unternehmen, Kommunen und Privatpersonen

Elektrolastenfahrräder:

- von 30 bis 60 % der Anschaffungskosten
- Privatpersonen nur in von NO_x-Grenzwertüberschreitung betroffenen Städten

Busse: 60 % der Mehrkosten zum Dieselbus, 90 % der Investition in Tankstelle und Werkstatt

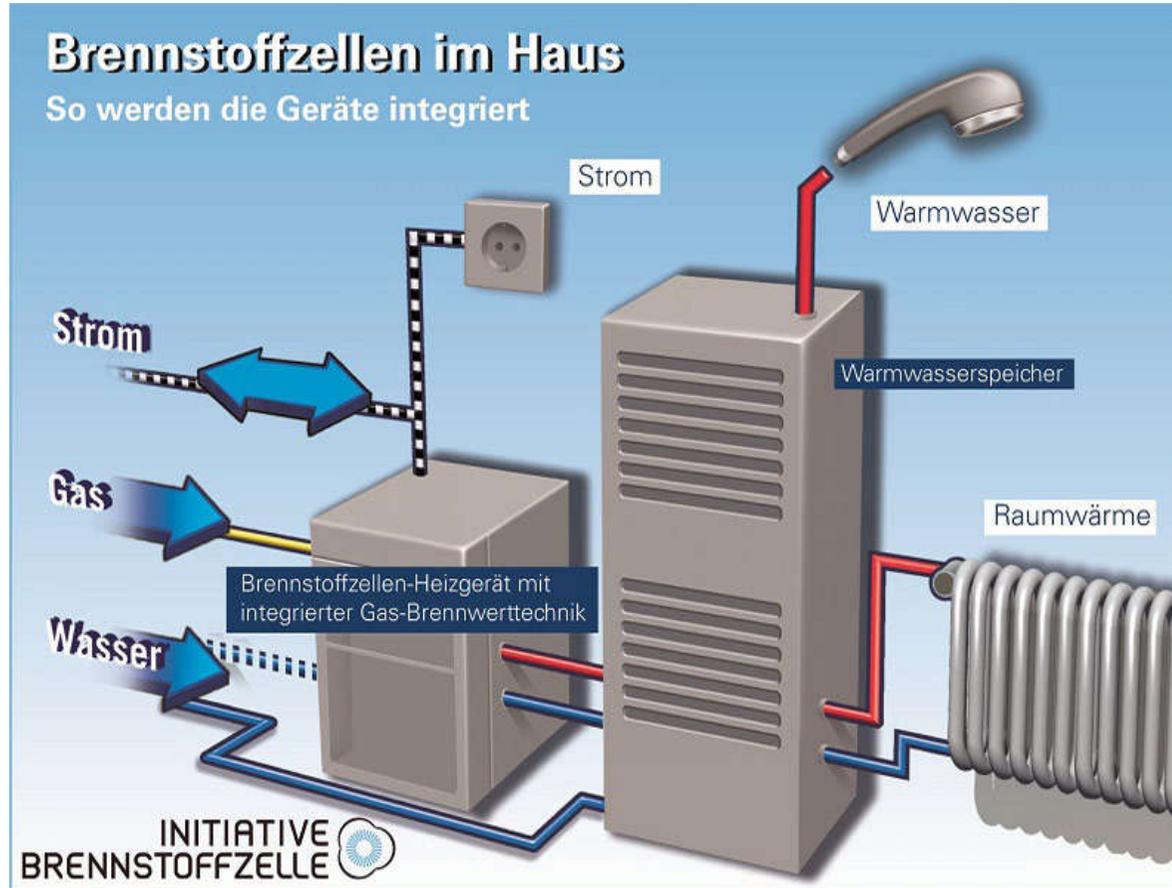
Exkurs: Stationäre Brennstoffzellen – Status Quo

- Leistungsklasse 300 W bis 2,8 MW
- Mehr als 300.000 Anlagen weltweit installiert, darunter 250.000 Bz-Heizgeräte in Japan (ca. 3.000 in D)
- Lebensdauer über 80.000 h (> 10 Jahre)
- Elektr. Wirkungsgrad bis 65 %; Gesamtwirkungsgrade bis 95 %
- Unterbrechungsfreie Stromversorgung z.B. für Mobilfunkmasten (Wasserstoff, Methanol, große Nachfrage in Schwellenländern) oder Rechenzentren
- Quattro Generation: Strom-Wärme-Kälte-sauerstoffarme Abluft (aktiver Brandschutz)
- Verschiedene Kooperationen deutscher Hersteller mit japanischen Unternehmen (Viessmann/Panasonic, N2telligence/Fuji Electric)



Quelle: ZBT, E.ON, Solid Power

Mikro-KWK mit Brennstoffzellen – Hausenergie



Quelle: NOW

KWK mit Brennstoffzellen – Industrielle Anwendungen



1. Brennstoffzelle > 1 MW in Europa (Mannheim) von FCES
 - Hochtemp.-Brennstoffzelle
 - 11,2 GWh/a Strom
 - 6.000 MWh Wärme
 - Standort: Spezialwerkstoffhersteller Friatec
 - CO₂-Einsparung 3.000 to/a
 - Contractor: E.ON



- 59 MW Brennstoffzellen Park in Hwasung, Süd Korea
 - 21 Einheiten à 2,8 MW MCFC
 - Fernwärmeversorgung
 - 60 % elektr. Wirkungsgrad

Quelle: NOW

Agenda

1

Grundlagen zu Wasserstoff

2

Energiewende und Wasserstoff

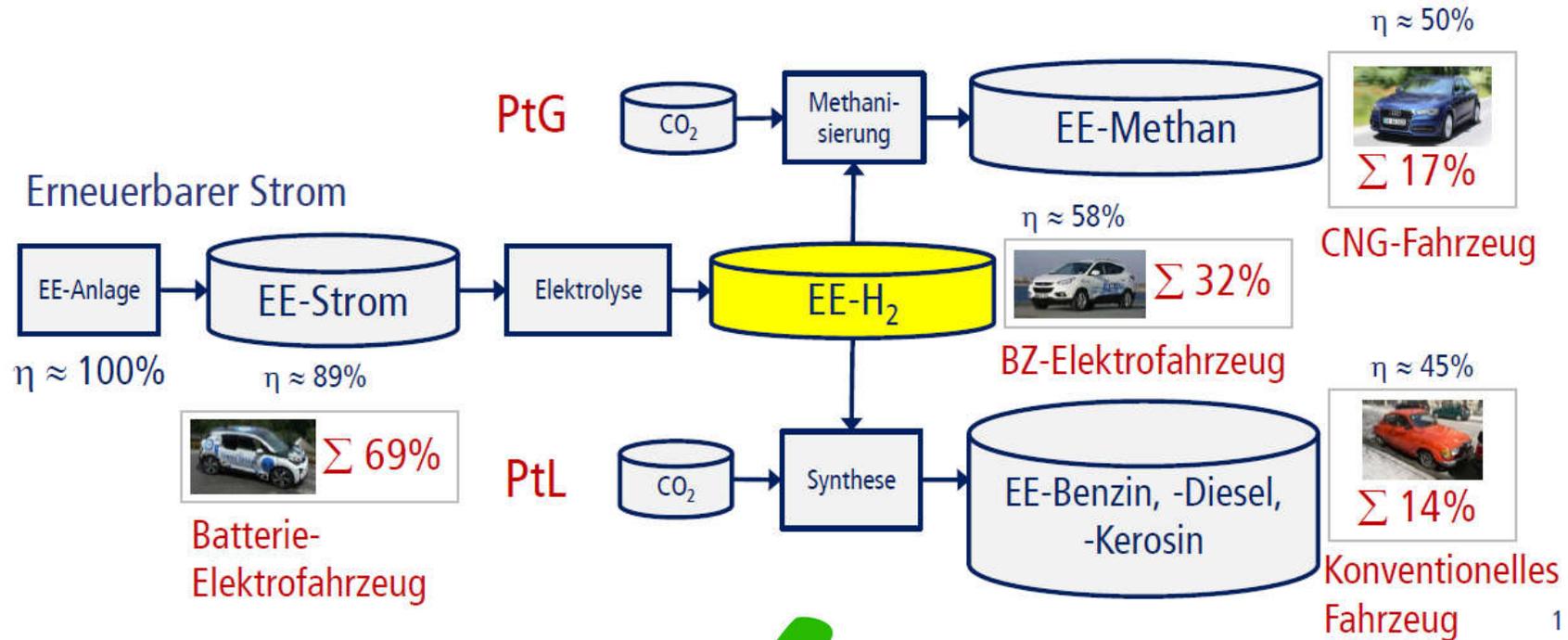
3

Wasserstoff in der Mobilität

4

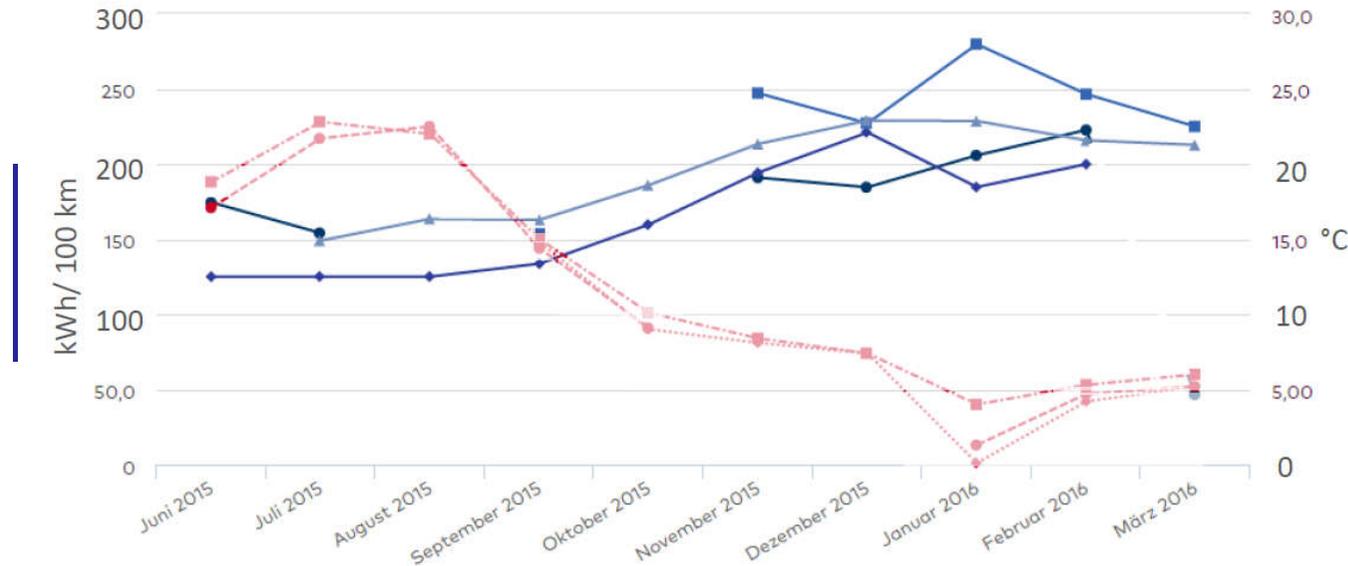
Fakten und Mythen zum Wasserstoff

Der Wirkungsgrad „Well-to-Wheel“ ist schlechter als bei Batterien...

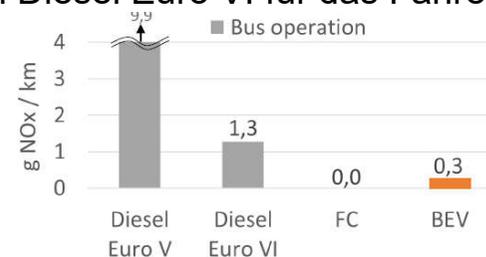


Quelle: LBST 2016

Oft vergessen: Energetischer Nutzungsgrad, Nutzung der Abwärme zum Heizen des Fahrzeugs

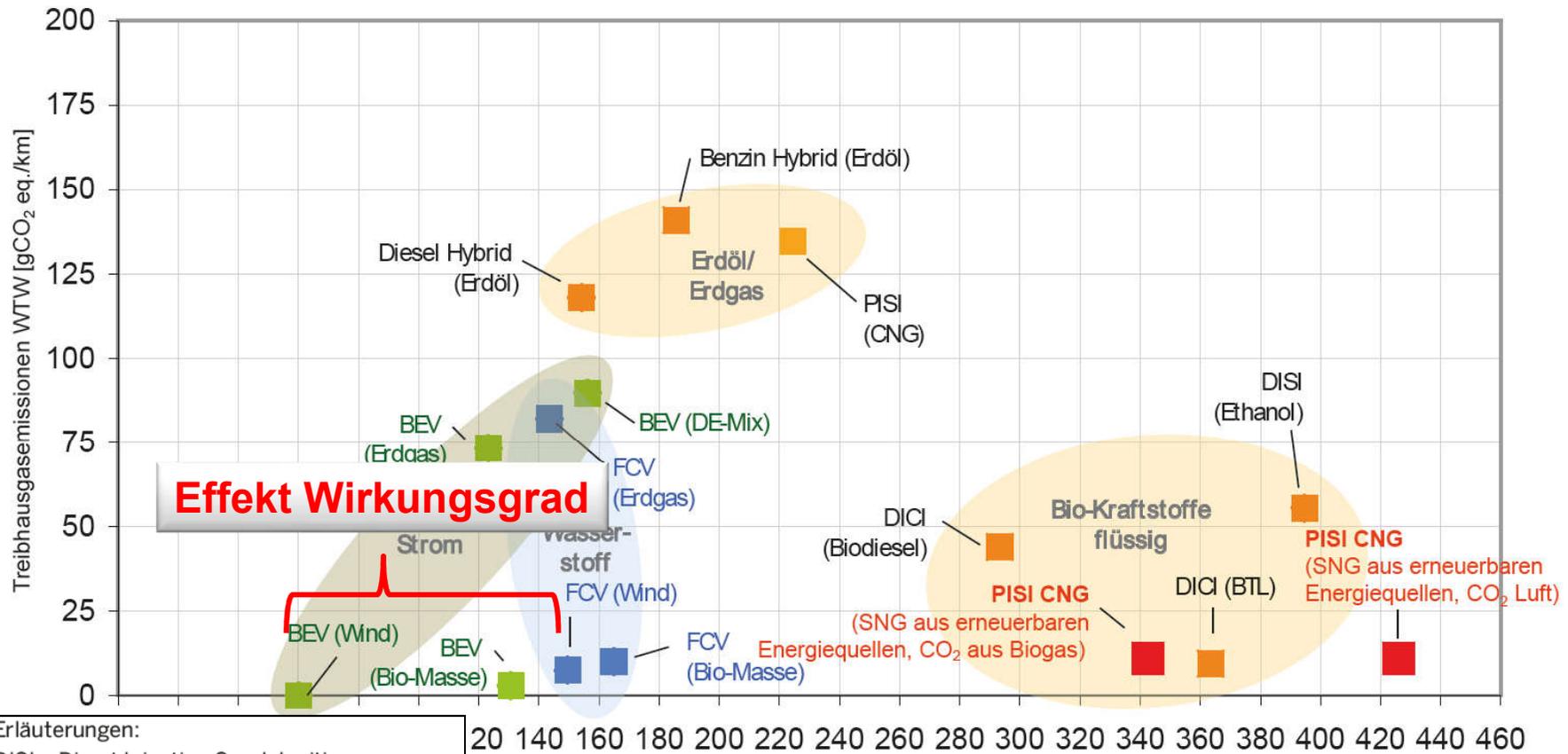


- Ø Energieverbrauch über das Jahr für das Fahren: 1,1-1,8 kWh/km mit externem Dieselheizgerät
- Aber 2,50 kWh/km bei elektrischem Heizen \cong **Verdoppelung des Bedarfs \rightarrow halbe Reichweite**
- Verbrauch Dieselheizgerät @ 0-4 °C: 2l/h, entspr. @ 18 km/h = 11 L/100 km (lt. Valeo)
- Emissionen: 0,27 g NOx/km, entspr. 22 % der Emission Diesel Euro VI für das Fahren (gem. HBEFA 3.3 2017)
- Beim Brennstoffzellenbus: weiterhin keine Emissionen



Grafiken: thinkstep

...daher helfen Bz-Autos nicht bei der Erreichung der Klimaziele

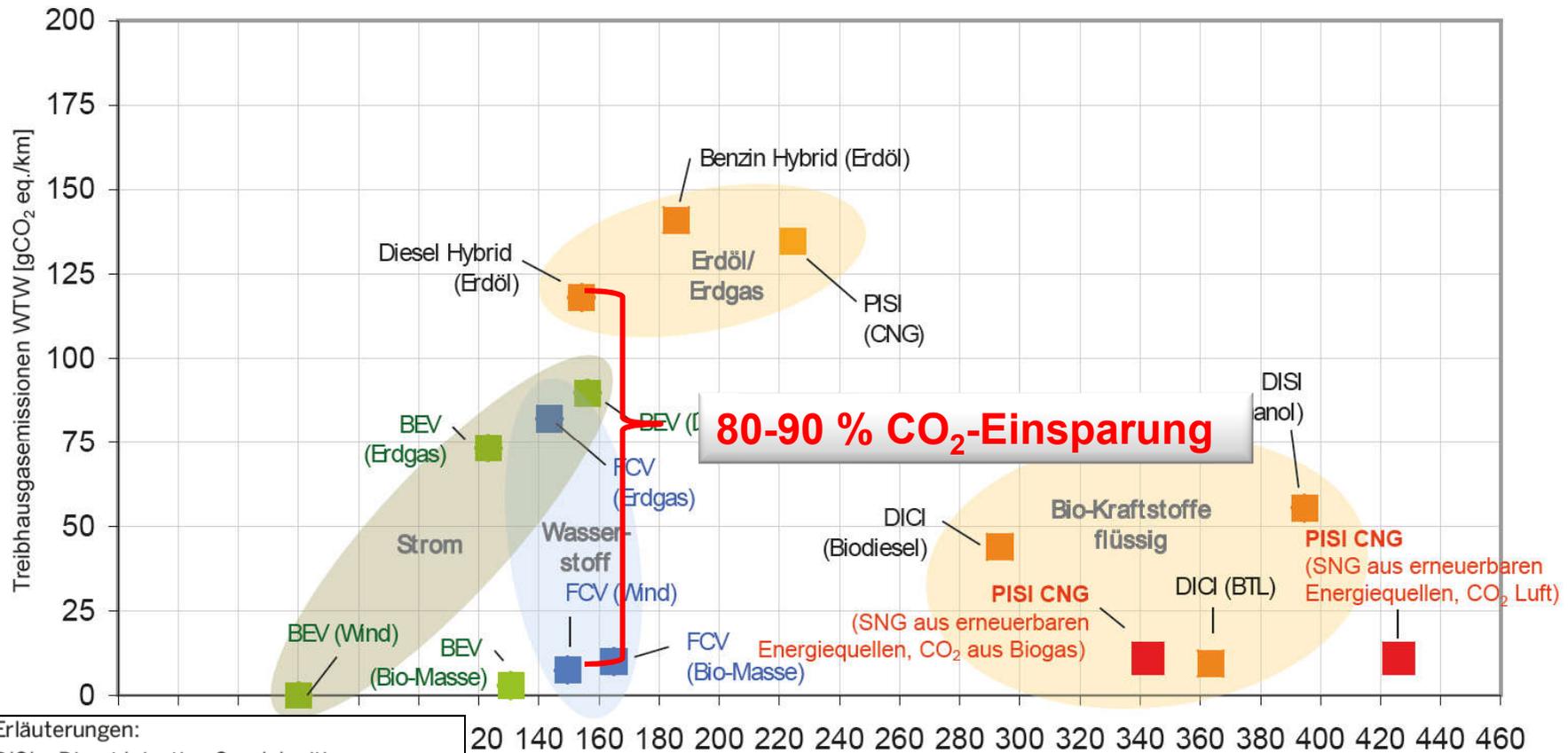


Erläuterungen:
 DISI – Direct Injection Spark Ignition
 DICI – Direct Injection Compression Ignition
 PISI – Port Injection Spark Ignition
 FCV – Fuel Cell Vehicle
 BEV – Battery Electric Vehicle

Energieverbrauch Well-to-Wheel [MJ/100km]

Quellen:
 1. JRC/ EUCAR/ CONCAWE (2011) WtW Report
 2. LBST (2010): ASSESSMENT AND DOCUMENTATION OF SELECTED ASPECTS OF TRANSPORTATION FUEL PATHWAYS

...daher helfen Bz-Autos nicht bei der Erreichung der Klimaziele

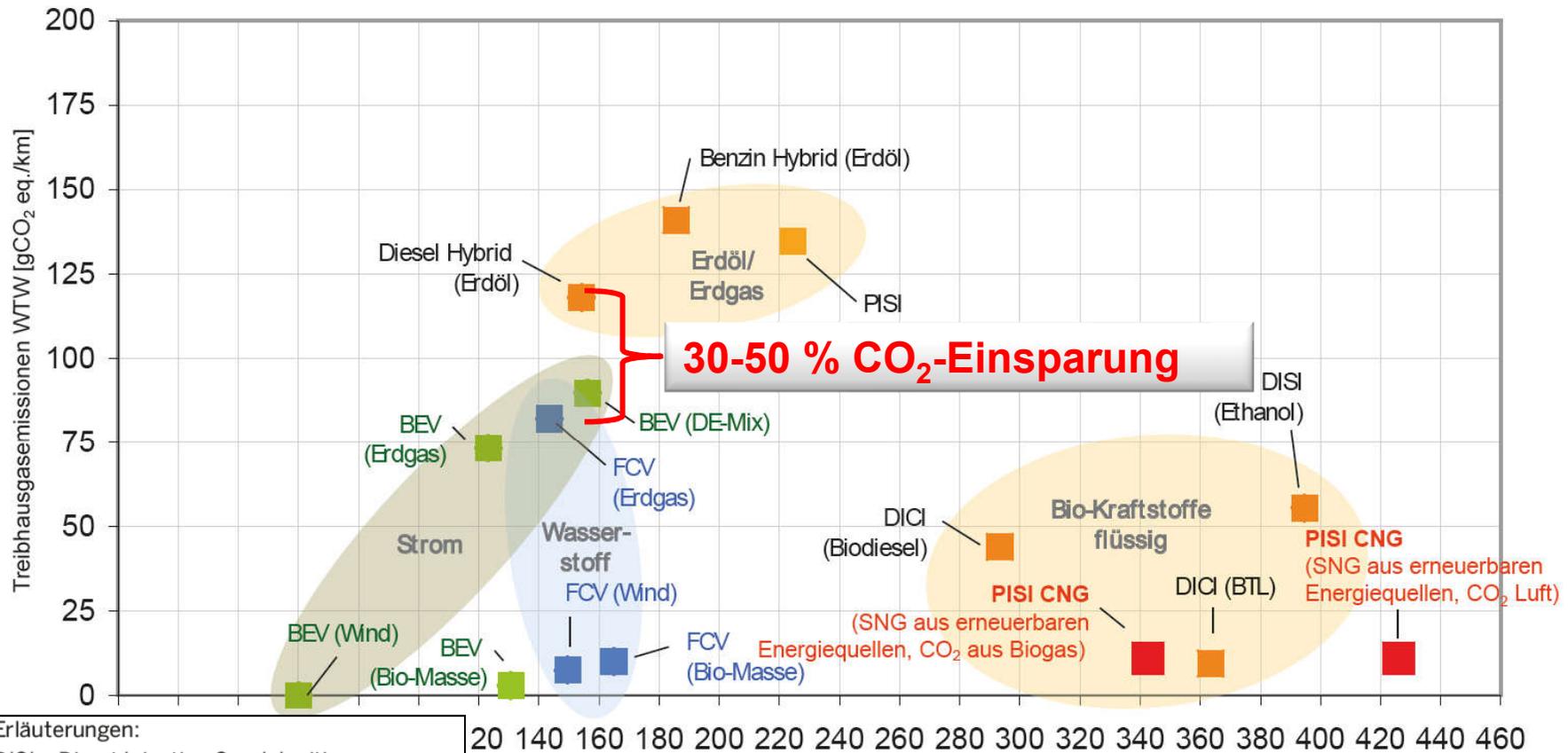


Erläuterungen:
 DISI – Direct Injection Spark Ignition
 DICI – Direct Injection Compression Ignition
 PISI – Port Injection Spark Ignition
 FCV – Fuel Cell Vehicle
 BEV – Battery Electric Vehicle

Energieverbrauch Well-to-Wheel [MJ/100km]

Quellen:
 1. JRC/ EUCAR/ CONCAWE (2011) WtW Report
 2. LBST (2010): ASSESSMENT AND DOCUMENTATION OF SELECTED ASPECTS OF TRANSPORTATION FUEL PATHWAYS

...daher helfen Bz-Autos nicht bei der Erreichung der Klimaziele, erst recht nicht mit H₂ aus Erdgas

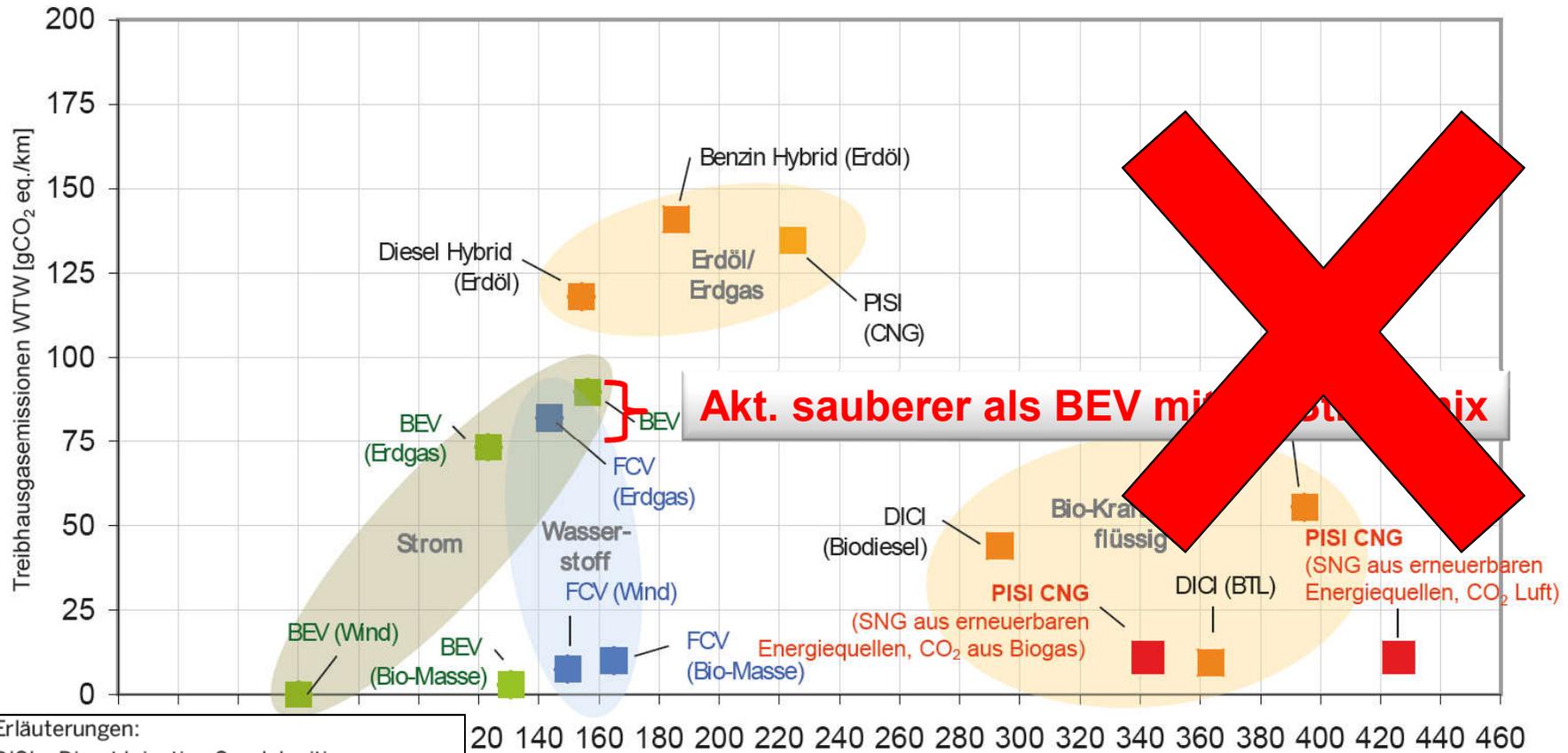


Erläuterungen:
 DISI – Direct Injection Spark Ignition
 DICI – Direct Injection Compression Ignition
 PISI – Port Injection Spark Ignition
 FCV – Fuel Cell Vehicle
 BEV – Battery Electric Vehicle

Energieverbrauch Well-to-Wheel [MJ/100km]

Quellen:
 1. JRC/ EUCAR/ CONCAWE (2011) WtW Report
 2. LBST (2010): ASSESSMENT AND DOCUMENTATION OF SELECTED ASPECTS OF TRANSPORTATION FUEL PATHWAYS

...daher helfen Bz-Autos nicht bei der Erreichung der Klimaziele, erst recht nicht mit H₂ aus Erdgas



Erläuterungen:
 DISI – Direct Injection Spark Ignition
 DICI – Direct Injection Compression Ignition
 PISI – Port Injection Spark Ignition
 FCV – Fuel Cell Vehicle
 BEV – Battery Electric Vehicle

Energieverbrauch Well-to-Wheel [MJ/100km]
 Quellen:
 1. JRC/ EUCAR/ CONCAWE (2011) WtW Report
 2. LBST (2010): ASSESSMENT AND DOCUMENTATION OF SELECTED ASPECTS OF TRANSPORTATION FUEL PATHWAYS

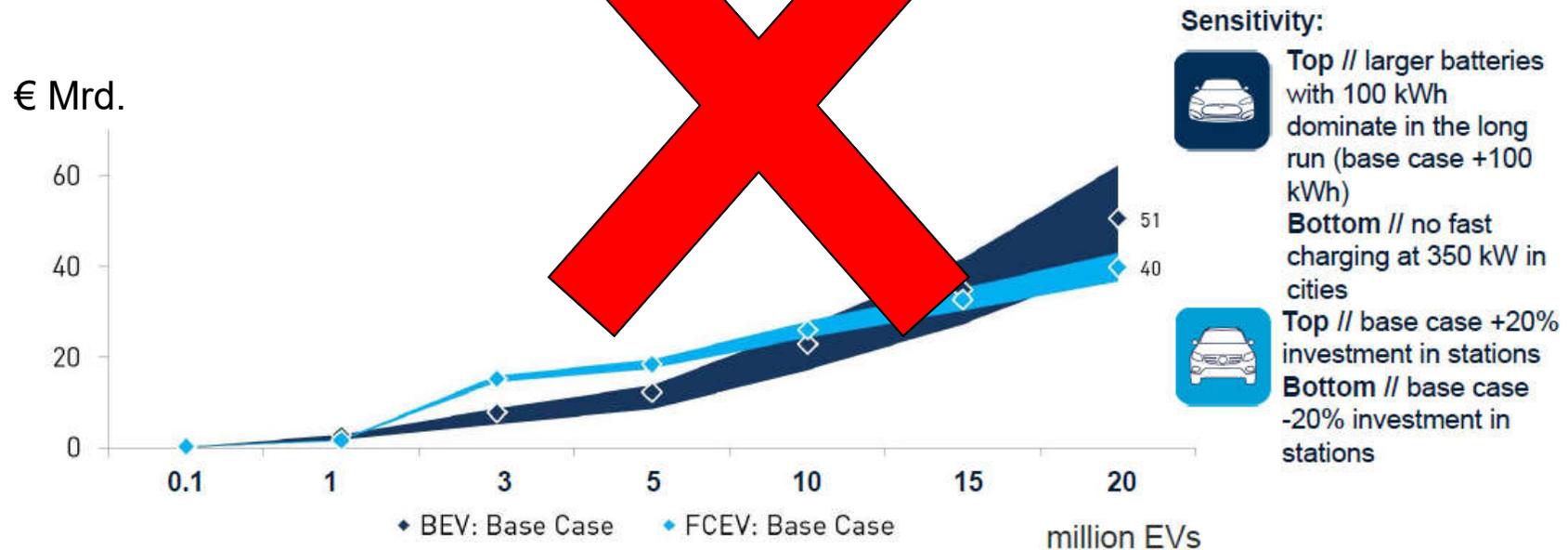
These: H₂ Infrastruktur ist teurer als Ladeinfrastruktur

Auf lange Sicht kostet eine reine Ladeinfrastruktur 11 Mrd. Euro mehr als eine reine H₂-Tankstelleninfrastruktur



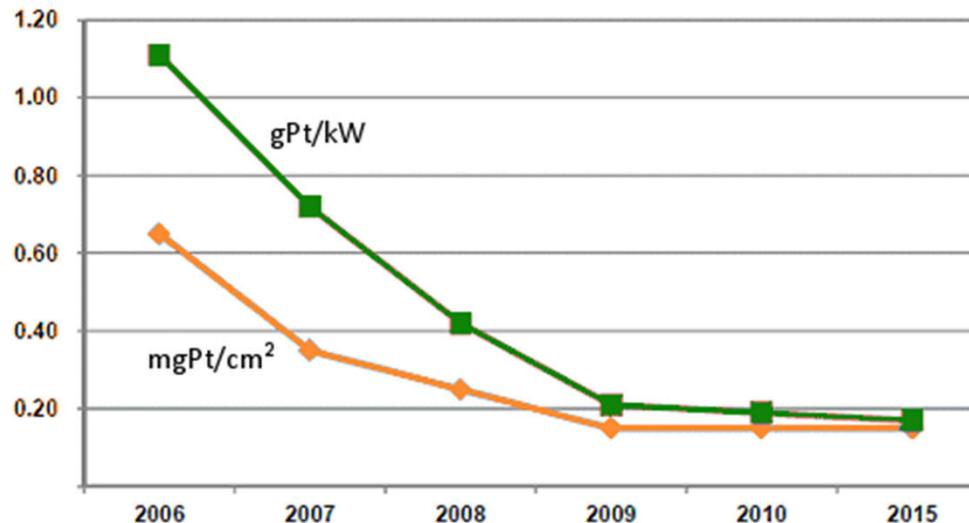
Annahmen: 20 Mio Pkw = 50 % des aktuellen Bestands

- 11 Mio. Ladesäulen, 250.000 Schnellladesäulen, 183.000 Leistung, 190.000 Trafos
- 7.000 Tankstellen, 12.000 km Pipeline, 100 Trailers, 100 MW Elektrolyse, 10 TWh Speicherbedarf



Download: <http://hdl.handle.net/2128/16709>

These: Platin macht die Brennstoffzellen teuer



Quelle: The Fuel Cell and Hydrogen Industries: 10 Trends to Watch in 2013 and Beyond, Pike Research, Boulder, CO, USA, 2013.

Platinbedarf einer 100 kW Brennstoffzelle für PKW:

2000: 240 g

2006: 118 g

2015: 18 g

2018: 10 g

Platinpreis (18.9.19): 851 €/Feinunze (31 g) → Wert in der Brennstoffzelle: 273 €

These: Platin macht die Brennstoffzellen teuer



Quelle: e-mobil bw, Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien

- Materialkosten sind bei Batteriefahrzeugen signifikant höher als bei Brennstoffzellenfahrzeugen
- Bei Brennstoffzellenfahrzeugen sind jedoch die Produktionskosten höher
→ Serienfertigung wird Kosten signifikant reduzieren

These: H₂ ist gefährlicher als Benzin oder Batterien

Ein Vergleich

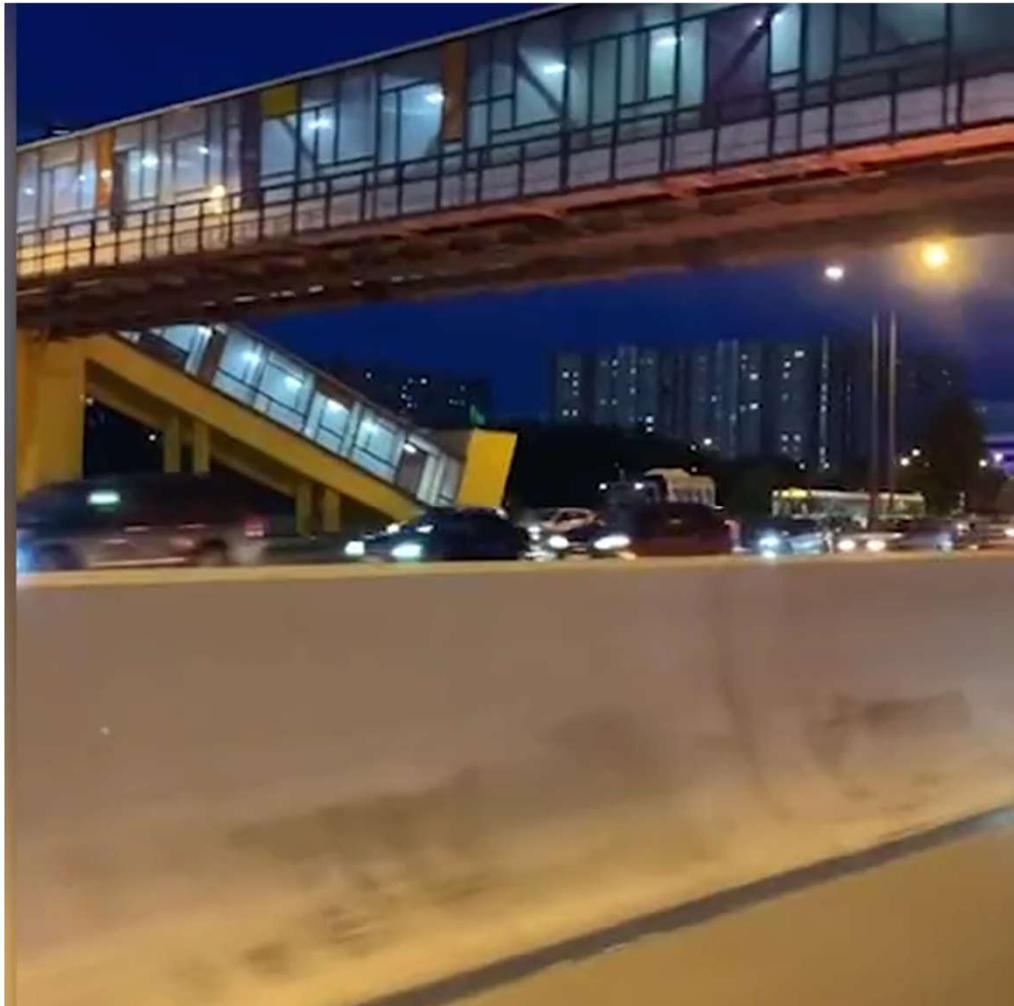


Brand beim Benziner (15.000 Fahrzeugbrände in D/Jahr) und beim Wasserstoff-Fahrzeug (links) bei undichtem Tank



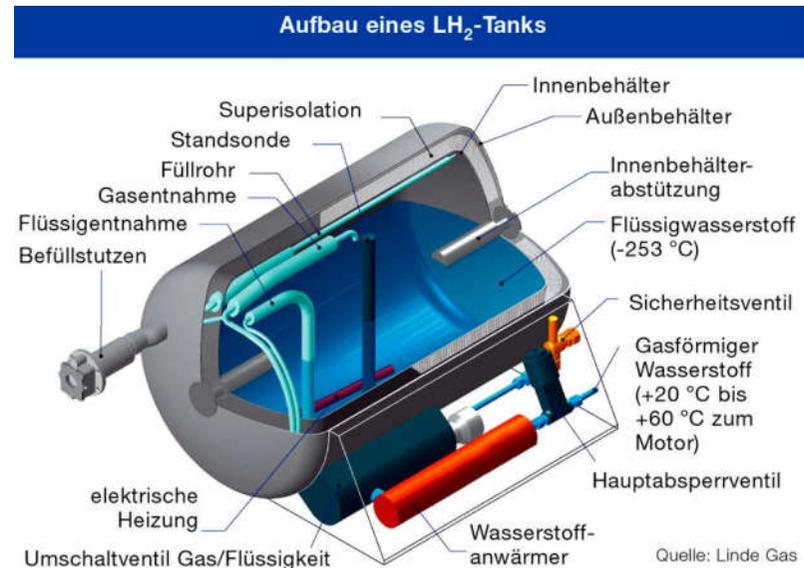
Tesla nach Kurzschluss beim Laden am Supercharger

These: H₂ ist gefährlicher als Benzin oder Batterien



These: Wasserstofftanks sind undicht

- Flüssigwasserstofftank (BMW 2003):
Boil-off (Verdampfung durch Wärmezufuhr) musste zur Vermeidung des Druckanstiegs abgeblasen werden, Entleerung je nach Temperatur innerhalb weniger Tage



Quelle: Linde

These: Wasserstofftanks sind undicht

- Bei 200 bar Stahlflaschen für H₂ praktisch keine Diffusionsverluste
- Kompositttanks (Typ III und IV) für Druckwasserstoffspeicherung sind technisch dicht:
Entleerdauer eines 700 bar H₂ Tanks: ca. 100 Jahre



Quelle: DWV

These: Wasserstofftanks explodieren beim Unfall

Versuche bei der Bundeswehr zeigen:
Tanks zerbersten unter Beschuss und im Feuer nicht



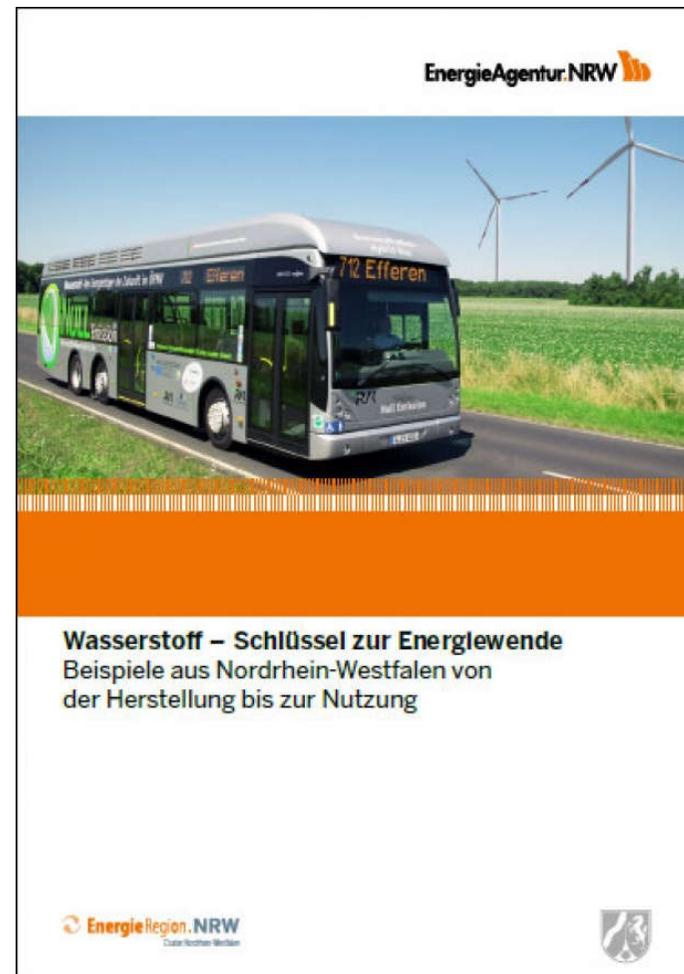
Noch Fragen?

Kontakt:

Netzwerk Brennstoffzelle und Wasserstoff, Elektromobilität

Dr. Frank Koch
Roßstraße 92
40476 Düsseldorf

Tel.: 0209-167 2816
Website: www.brennstoffzelle-nrw.de
E-Mail: koch@energieagentur.nrw



Globale Verfügbarkeit der Rohstoffe

| | Li | Co | Ni | Pt (niedrig) | Pt (hoch) | Nd | Dy | Cu |
|-----------------------------------|---------|--------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| Gesamtbedarf für 25 % BEV | 2,3 Mt | 3,4 Mt | 10,1 Mt | --- | --- | 119 kt | 24 kt | 23 Mt |
| Gesamtbedarf für 25 % FCEV | --- | --- | --- | 3,6 kt | 8,3 kt | 119 kt | 24 kt | 10 Mt |
| Wirtschaftlich abbaubare Reserven | 14,4 Mt | 7,2 Mt | 79,2 Mt | 37,5 kt ²⁶ | 37,5 kt ²⁶ | 20,7 Mt ²⁵ | 1,5 Mt ²⁵ | 720 Mt |
| Verhältnis bei 25 % BEV | 16 % | 48 % | 13 % | --- | --- | 0,5 % | 1,5 % | 3 % |
| Verhältnis bei 25 % FCEV | --- | --- | --- | 9,5 % | 22 % | 0,5 % | 1,5 % | 1,5 % |

Tabelle 10-4: Theoretischer Gesamtbedarf (absolut) der als kritisch identifizierten Rohstoffe und das Verhältnis dieses Bedarfs zu den heutigen wirtschaftlich abbaubaren Reserven für eine Umstellung von 25 % der globalen PKW-Flotte

Quelle: e-mobil bw, Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien

Wirtschaftlich abbaubare Reserven reichen bei 25 % Anteil am Gesamtbestand bei Weitem aus

Globale Verfügbarkeit der Rohstoffe

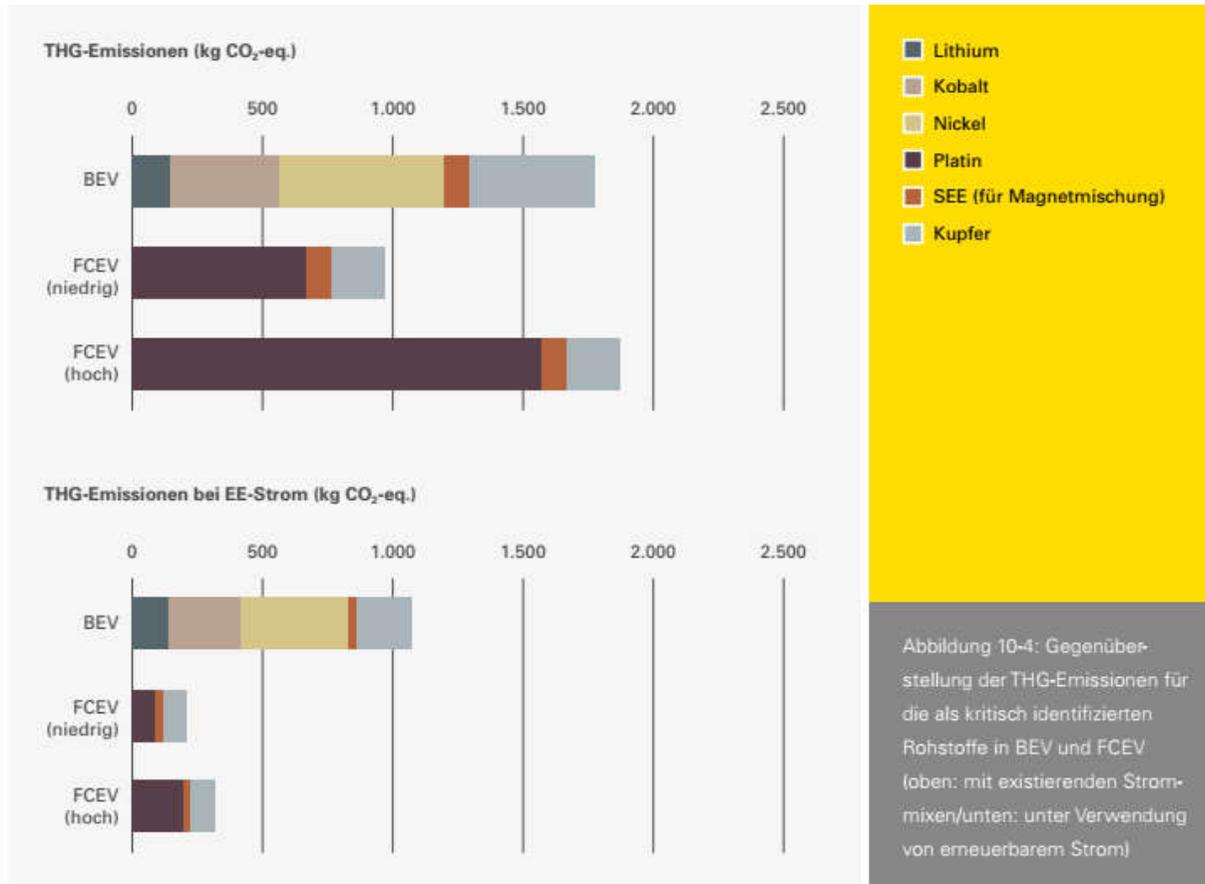
| | Li | Co | Ni | Pt (niedrig) | Pt (hoch) | Nd | Dy | Cu |
|--|---------|--------|--------|-----------------|--------------|-----------------------|----------------------|---------|
| Jährlicher Bedarf für 25 % BEV-Produktion | 175 kt | 263 kt | 774 kt | -- | -- | 9,1 kt | 1,8 kt | 1,7 Mt |
| Jährlicher Bedarf für 25 % FCEV-Produktion | -- | -- | -- | 275 t | 640 t | 9,1 kt | 1,8 kt | 750 kt |
| Primärförderung 2015 ²⁴ (t/a) | 32,1 kt | 144 kt | 2,1 Mt | 188 t | 188 t | 20,6 kt ²⁵ | 1,5 kt ²⁵ | 18,2 Mt |
| Verhältnis bei 25 % BEV | 545 % | 185 % | 37,5 % | -- | -- | 45 % | 120 % | 10 % |
| Verhältnis bei 25 % FCEV | -- | -- | -- | 145 % | 340 % | 45 % | 120 % | 5 % |

Tabelle 10-3: Theoretischer jährlicher Bedarf (absolut) der als kritisch identifizierten Rohstoffe und das Verhältnis dieses Bedarfs zur aktuellen Fördermenge für 25 % Anteil an der jährlichen Fahrzeugproduktion

Quelle: e-mobil bw, Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien

Aber: jährlicher Bedarf zur Fahrzeugproduktion übersteigt die jährliche Rohstoffförderung von Li, Co, Pt z.T. deutlich

THG Emissionen bei der Rohstoffgewinnung



Quelle: e-mobil bw, Rohstoffe für innovative Fahrzeugtechnologien

THG Emissionen bei kleinem Platingehalt < BEV

Bei Verwendung grünen Stroms (Elektroschmelzöfen) auch bei großem Pt-Gehalt