

WASSERSTOFFREGION
CHYSTARTER
GEMEINDE PERL

WASSERSTOFF: VON DER ERZEUGUNG BIS ZUR ANWENDUNG

Infoveranstaltung Perl, 01.02.2023
Dr. Frank Koch, , EE Energy Engineers GmbH



Vergabe und Projektbegleitung durch:



AGENDA

1

Wasserstoff – heute und in Zukunft

2

Stationäre Anwendungen von Wasserstoff

3

Mobile Anwendungen von Wasserstoff

WASSERSTOFF (H₂) – EIGENSCHAFTEN UND HEUTIGE VERWENDUNG

Eigenschaften

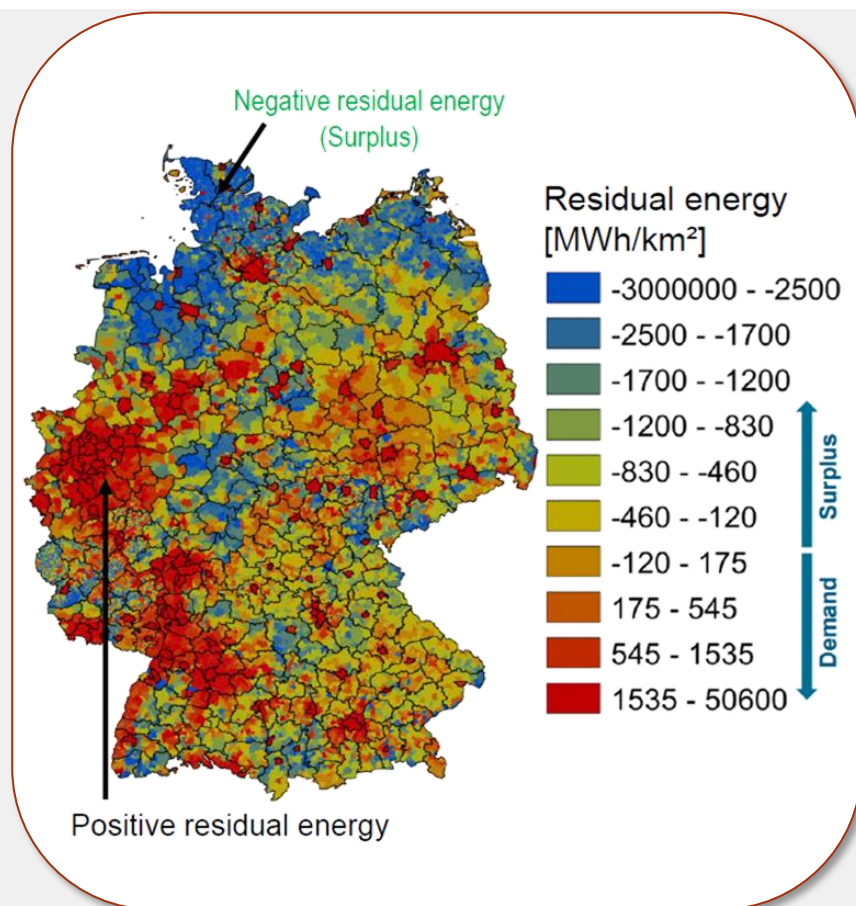
- Farb- und geruchloses Gas, ungiftig, nicht cancerogen
- Brennbar, leichter als Luft
- Sekundärer Energieträger, herstellbar aus Kohlenwasserstoffen (z.B. Erdgas) und per Elektrolyse (Strom)

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 weltweit (1,65 Mio. t in D, davon 0,6 Mio. in NRW)
- Wasserstoff wird seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt
 - Chemische Produkte: Ammoniaksynthese (Düngemittel), Methanolsynthese (Kunststoffe): $N_2 + 3 H_2 \rightarrow 2 NH_3$; $CO + 2 H_2 \rightarrow CH_3OH$
 - Kraft- und Schmierstoffe: Hydrierung, Cracken; Margarineherstellung; Glasindustrie
- Künftig: auch Energiespeicher und -transportmedium, Kraftstoff



HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIEWENDE



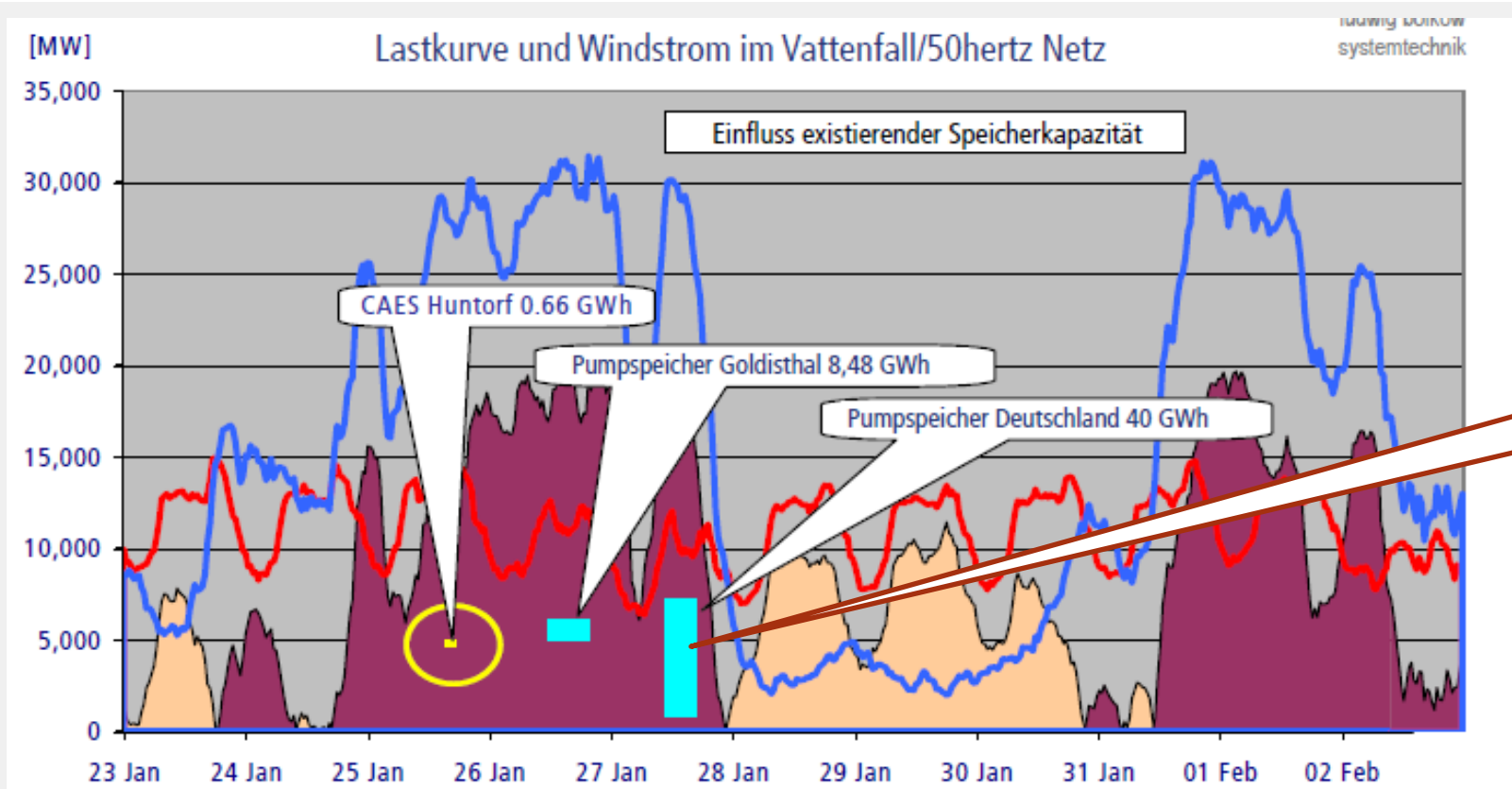
Aussagen

- 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 Fahrzeug-Flotte) zu erzeugen
- Aber: Auch ein perfektes Stromnetz kann nur max. 50 der 270 TWh verteilen



Transport der Energie notwendig

HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIEWENDE



Aussage

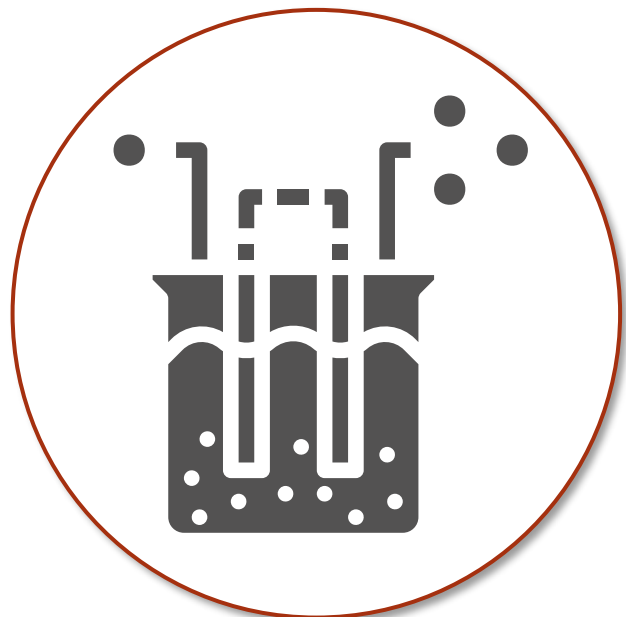
Auch größte Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerke reichen nicht aus, um die Überschüsse zu speichern

» Speicherung der Energie notwendig

Quelle: LBST

WASSERSTOFF KÜNFTIG – BAUSTEIN DER SEKTORENKOPPLUNG

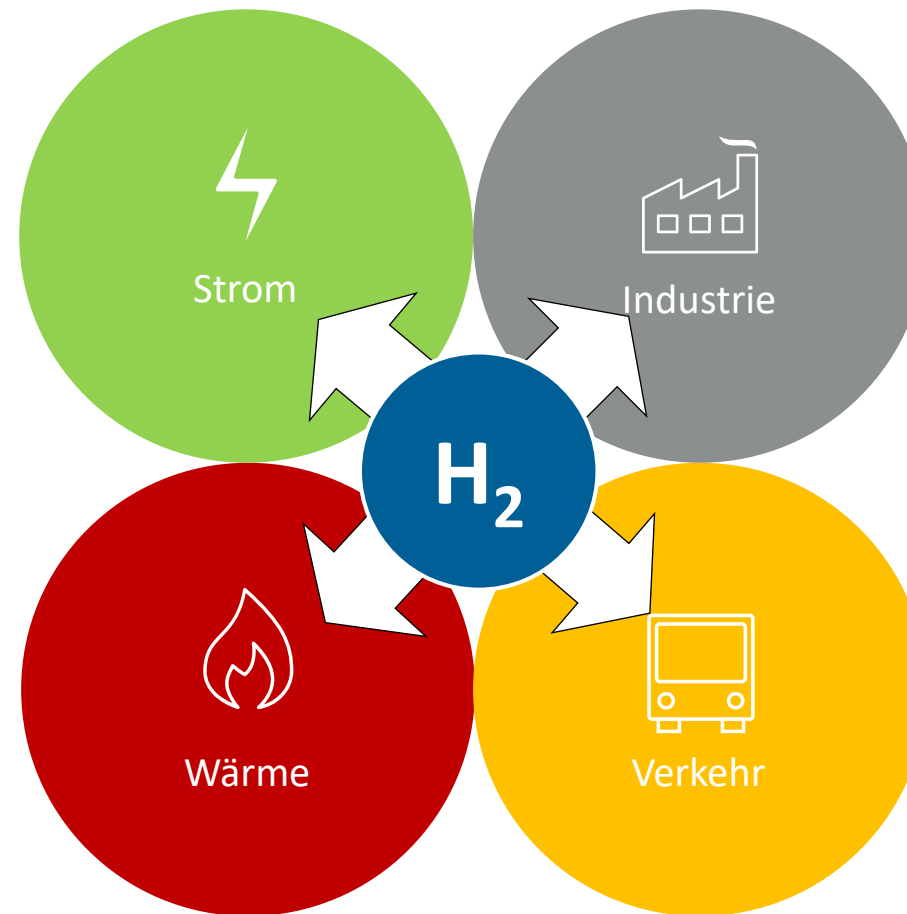
15 L/kg H₂ H₂O
 Strom 55 kWh/kg H₂



1 kg
 H₂

8 kg
 O₂

16 kWh
 Wärme



H2-GEWINNUNG AUS RESTSTOFFEN (BLUEFLUX-VERFAHREN)

Schritt 1: Hydrolyse → Erzeugung von Bio-Kohle und Dampf

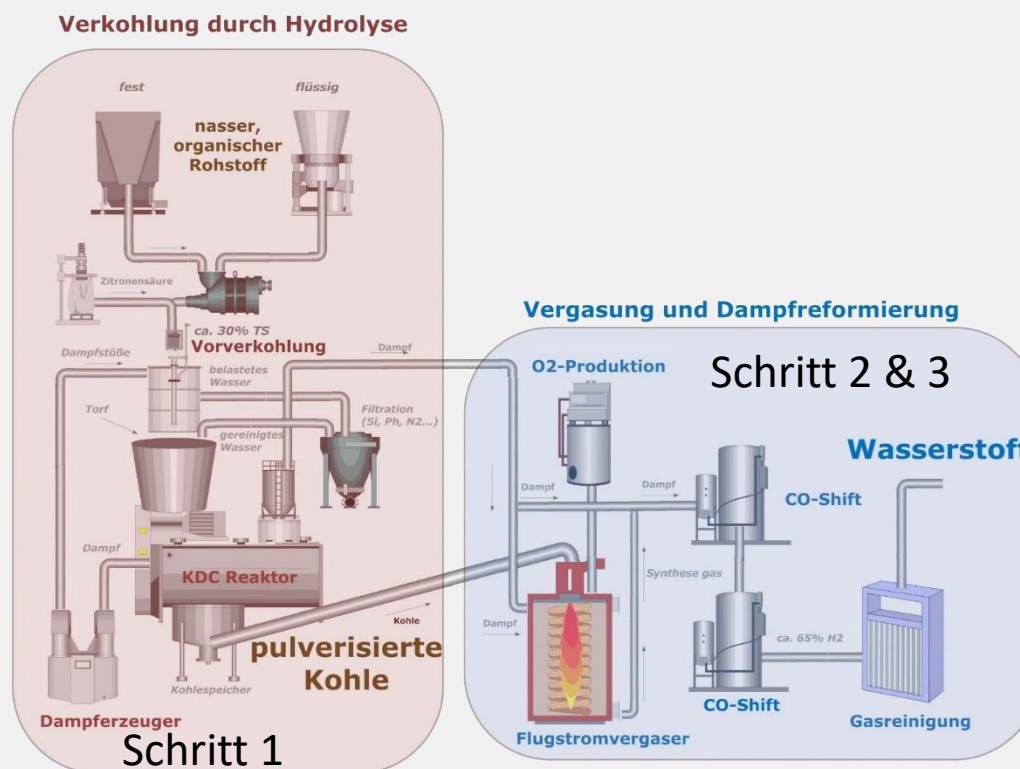
Schritt 2: Bio-Kohle und Dampf werden über einen Vergasungsprozess in Synthesegas umgewandelt

Schritt 3: H₂-Erzeugung über eine CO-Shift-Reaktion

blueFLUX

Benötigte Komponenten

- Häcksler/Mischer
- Dampferzeuger
- KDC Reaktor
- O₂-Erzeuger
- Flugstromvergaser
- CO-Shift Reaktor
- Gasreiniger



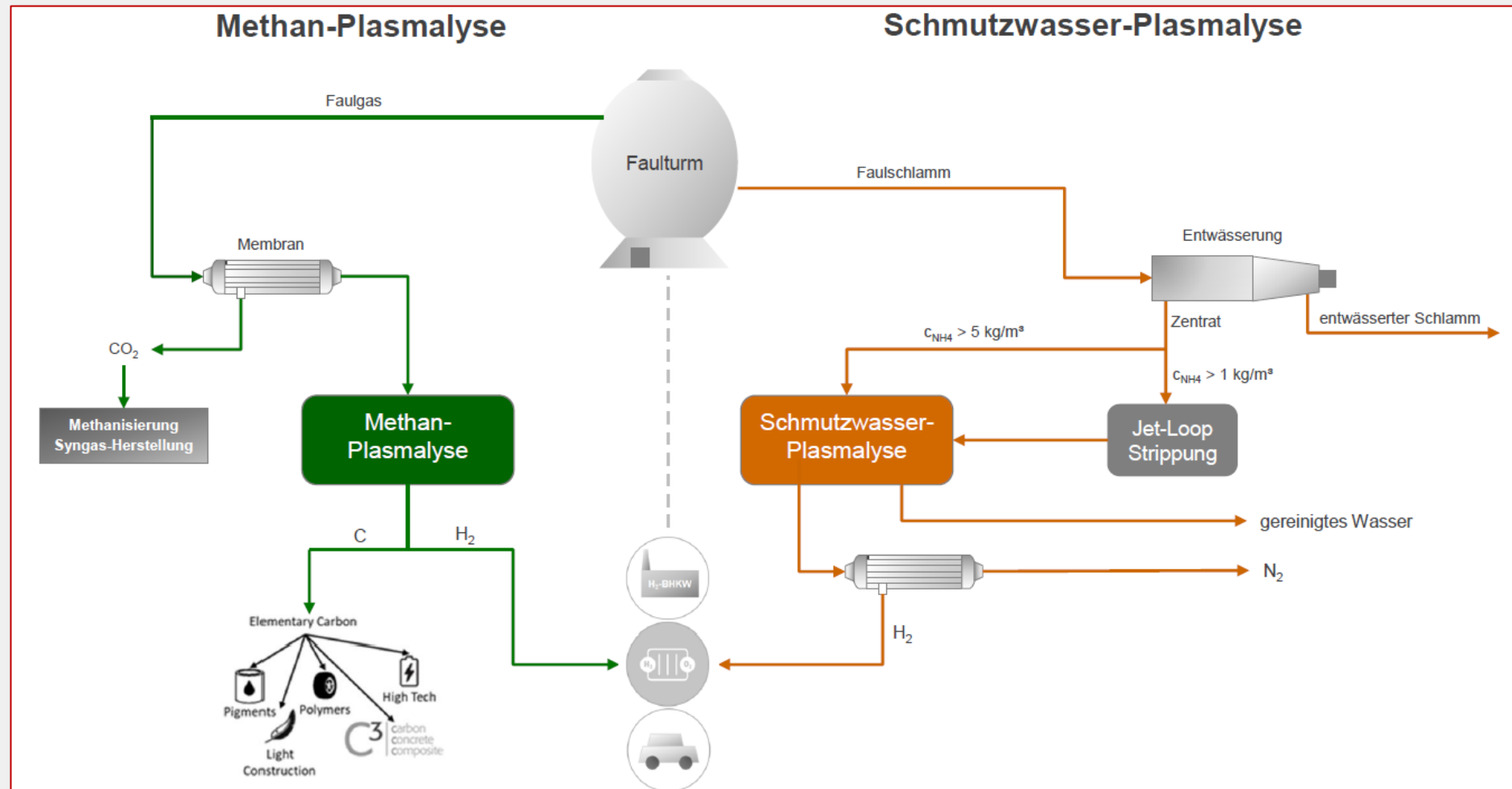
Edukte

- Klärschlamm, Gülle, Mist
 - Bio- / Organische Abfälle
 - Plastik (~ 30 %)
 - GFK/CFK (Faserhaltiger-Abfall)
 - Reifen
- Min. 30 % Feststoffanteil für Bio-Kohle

Produkte

- H₂
- Bio-Methan
- Bio-Kohle
- Dünger
- Bio-Methanol

WASSERSTOFFERZEUGUNG AUS METHAN UND SCHMUTZWASSER (GRAFORCE)



➤ **Betrieb:**
Erdgas und Biomethan

➤ **Leistungsbereich:**
115 – 6.500 Nm³/h

➤ **Nebenprodukte:**

- 30 kW Wärme
- 30 kg Carbon-Black

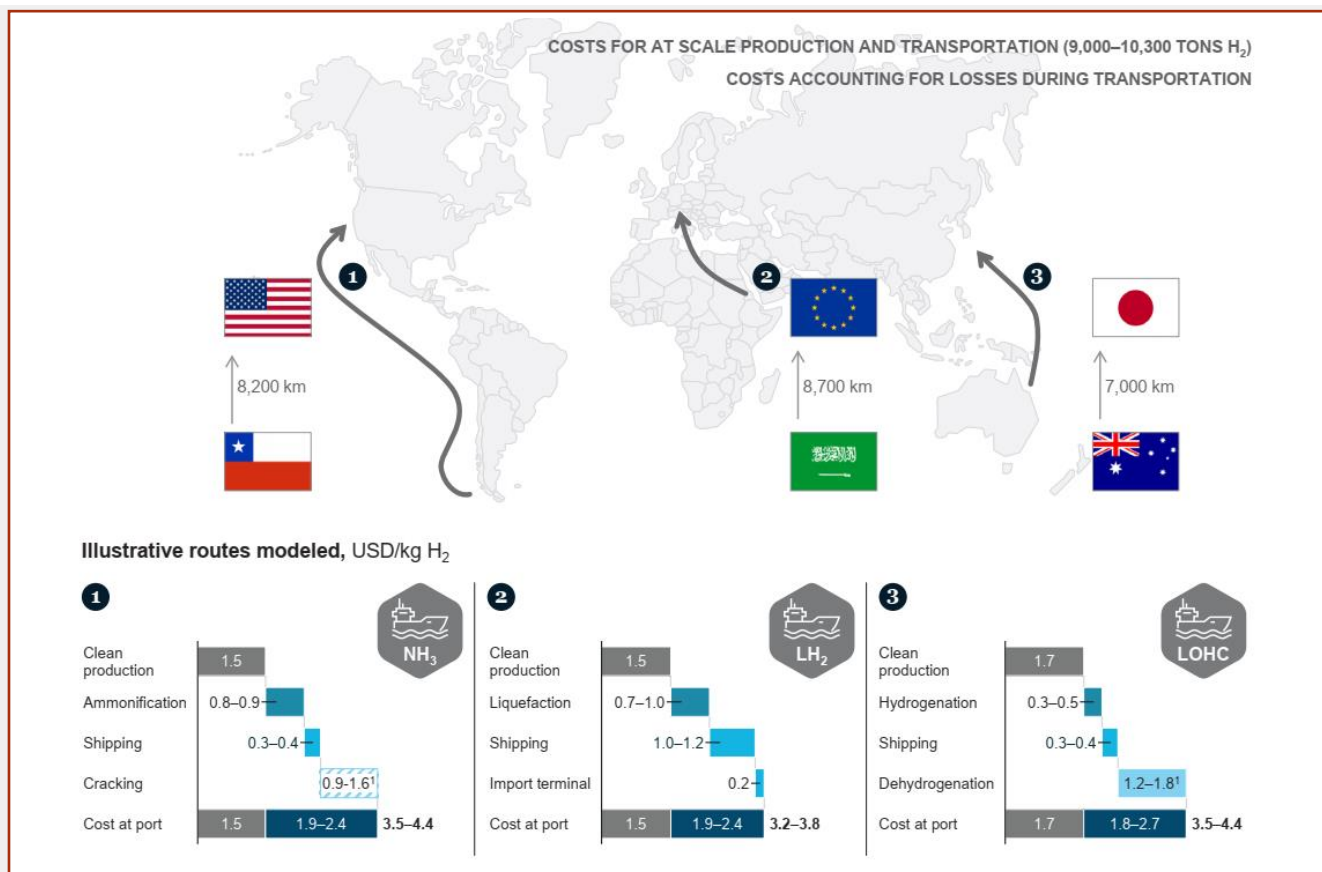
➤ Pro kg H₂ werden **13,8 kWh_{el} + 0,6 Nm³ Methan** benötigt

Dieses Verfahren benötigt **weniger Strom¹**, jedoch wird als zusätzliches Edukt **Methan** benötigt

FARBENLEHRE DES WASSERSTOFFS

FARBE	ENERGIEQUELLE	H ₂ -ERZEUGUNGSVERFAHREN
Schwarz	Steinkohle	Vergasung/Dampfreformierung
Braun	Braunkohle	Vergasung/Dampfreformierung
Grau	Erdgas	Dampfreformierung
Weiß	Natur/Industrie	Natür. Vorkommen/Nebenprodukt
Blau	Fossile Energieträger + CCS	Dampfreform. mit CO ₂ -Abscheidung
Rot	Kernenergie	Elektrolyse
Türkis	Methan- /Erdgaspyrolyse	Pyrolyse
Grün	Biogas / Biomasse	Dampfreformierung / Pyrolyse
Grün	Erneuerbare Energien	Elektrolyse

IMPORT VON WASSERSTOFF



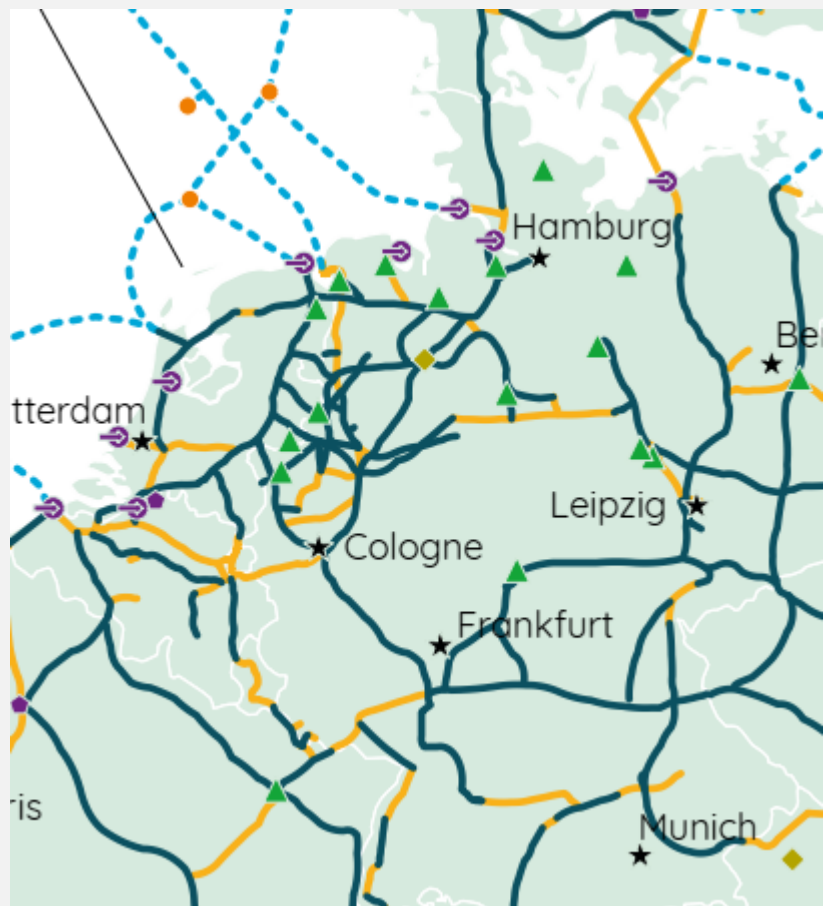
Transportarten

- Ammoniak NH₃ und Reformierung im Hafen
- Flüssig-Wasserstoff und Gasifizierung im Hafen
- LOHC (chem. Verbindung) und Dehydrierung im Hafen
- H₂-Weitertransport ab Hafen vor allem Pipeline, teilweise per Trailer

Die drei Routen erzeugen vergleichbare Gestehungskosten am Hafen

FERNLEITUNGSNETZBETREIBER STELLEN PLAN FÜR EUROPÄISCHEN WASSERSTOFF BACKBONE VOR

1



■ H₂-Pipeline (Umwidmung) ■ H₂-Pipeline (Neubau) ■ Exist. Industriecluster

Projekt

Ausbau in Europa, 75% aus umgewidmeten Erdgasleitungen, 25% neue Leitungsabschnitte:

- 2030 ca. 6.800 km
- 2040 ca. 23.000 km

Zwei parallele Fernleitungsnetze:

- reines Wasserstoffnetz
- (Bio-) Methannetz

Kosten

- Investitionskosten ca. 27 - 64 Mrd. €
- H₂-Transport je 1.000 km ca. 0,09 – 0,17 €/kg

» Trailer ca. 3,96 € / kg je 1.000 km

Technik

- H₂-Kapazität 13 GW, Durchmesser 121 cm (48“)
- Eingangsdruck 67-80 Bar / Ausgangsdruck 30-40 Bar
- Entfernung zwischen Kompressoren 100 – 600 km

VERGLEICH DER ENERGIETRANSPORTKAPAZITÄTEN

1



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

AGENDA

1

Wasserstoff – heute und in Zukunft

2

Stationäre Anwendungen von Wasserstoff

3

Mobile Anwendungen von Wasserstoff

GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG MITTELS BZ-KWK

	Buderus BLUEGEN BG15	SenerTec Dachs 0.8	SOLIDpower BLUEGEN BG15	Viessmann Vitocalor PT2	Viessmann Vitocalor PA2	Remeha eLecta 300	Sunfire Sunfire-Home 750
Anlage	Brennstoffzellen-Einzelgerät	Brennstoffzelle mit integriertem Brennwertgerät und Warmwasserspeicher	Brennstoffzellen-Einzelgerät	Brennstoffzelle mit integriertem Brennwertgerät und Warmwasserspeicher	Brennstoffzellen-Einzelgerät	Brennstoffzelle mit Zusatzheizgerät und Speichersystem	Brennstoffzellen-Einzelgerät
Typ Brennstoffzelle	SOFC	PEMFC	SOFC	PEMFC	PEMFC	PEMFC	SOFC
Maße nur Grundgerät (T x B x H)	800 x 550 x 1.200 mm	1.080 x 1.410 x 1.870 mm	800 x 550 x 1.200 mm	595 x 1.200 x 1.800 mm	595 x 600 x 1.600 mm	1.080 x 410 x 1.870 mm	600 x 680 x 1.150 mm
Elektrische Leistung	1.500 W	750 W	1.500 W	750 W	750 W	750 W	750 W
Thermische Leistung	850 W	1.100 W	850 W	1.100 W	1.100 W	1.100 W	1.250 W
Elektrischer Wirkungsgrad	55 %	38 %	55 %	38 %	38 %	38 %	36 %
Thermischer Wirkungsgrad	33 %	54 %	33 %	54 %	54 %	54 %	54 %
Gesamtwirkungsgrad	88 %	92 %	88 %	92 %	92 %	92 %	90 %
Pufferspeicher Heizungswasser	extern	300 l	extern	220 l Trinkwasserspeicher	extern	300 l	extern
KfW-Festbetrag	5.700 €	5.700 €	5.700 €	5.700 €	5.700 €	5.700 €	5.700 €
Leistungsabhängiger Zusatzbetrag	6.750 €	3.600 €	6.750 €	3.600 €	3.600 €	3.600 €	1.800 €
Pauschaler KWK-Zuschlag	3.600 €	1.800 €	3.600 €	1.800 €	1.800 €	1.800 €	780 €
Gesamtförderung	16.050 €	11.100 €	16.050 €	11.100 €	11.100 €	11.100 €	11.100 €



Buderus BlueGen



SenerTec Dachs



SOLIDpower BlueGen BG-15



Viessmann Vitocalor



Remeha eLecta



Sunfire Home 750

GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG MITTELS BZ-KWK

Anwendungsbereiche²

- Größere Gebäude i. A.

Technische Daten²

- Erd(Bio-)gas, H₂, Propan etc.
- Elektr. Leistung: 250 kW (Kombination SOFC + Mikrogasturbine)
- Wärme: 86 kW auf 88 °C (15 t/h Heißwasser oder 80 kg/h Dampf (178 °C))
- Elektr. Wirkgrd. 53 %, gesamt 73 %)
- 1 MW in Planung
- Seit Juni am GWI Essen in Betrieb

Mitsubishi MegaMie



GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG MITTELS BZ-KWK (INKL. BRANDSCHUTZ)

Anwendungsbereiche²

» Bibliotheken	Museen	Archive
» Lagerhallen	IT	Rechenzentren
» (Kühl)-lager	Chem. Industrie	Energiespeicher

Technische Daten²

- » Erd(Bio-)gas- und H₂-Betrieb
- » Elektr. Leistung: 100 kW
- » Wärme: 54 kW auf 62 °C Kälte: 40 kW
- » Brandschutz: mehrere 1000 m³ (O₂ ca. 15 Vol.-%)
- » modular erweiterbar

NORDFROST-Halle



N2intelligence BZ-BHKW

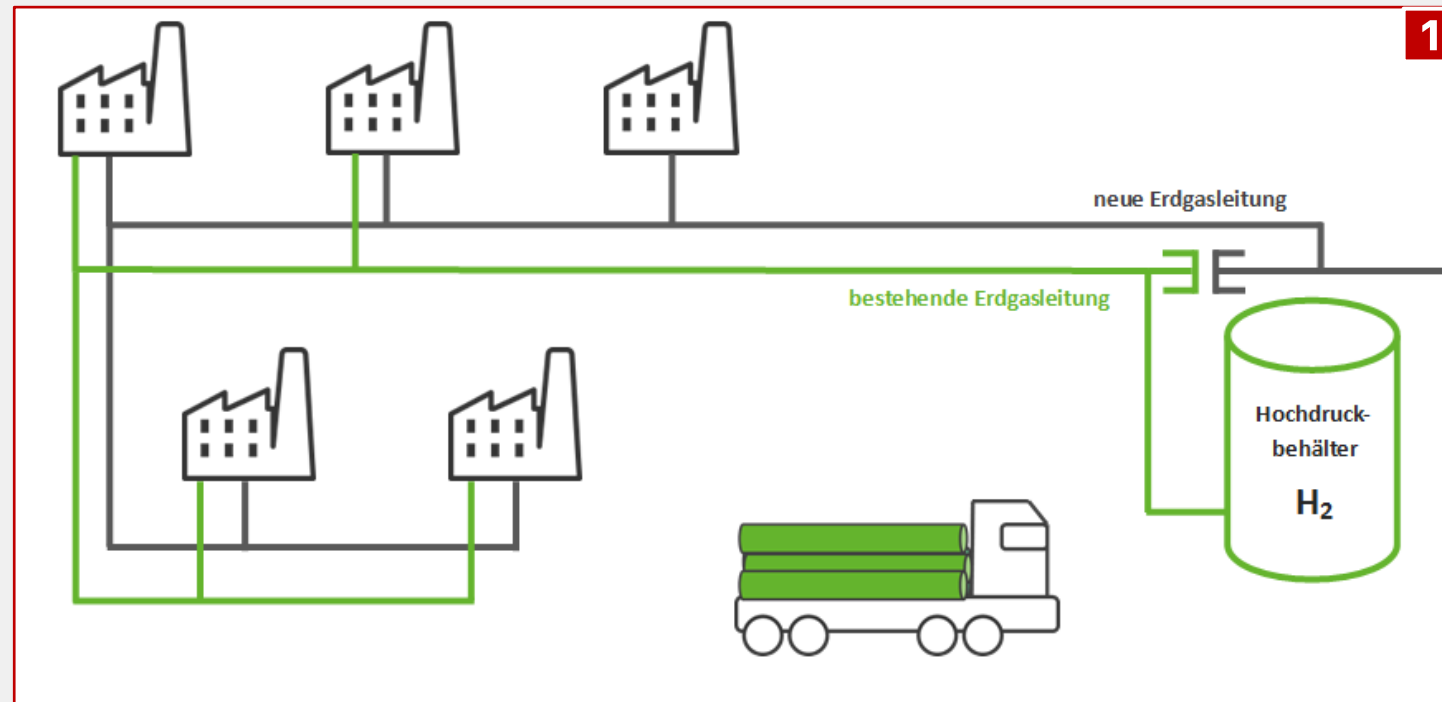


BEISPIEL: H₂-VERSORGUNG GEWERBEGEBIET HOLZWICKEDE

Fakten

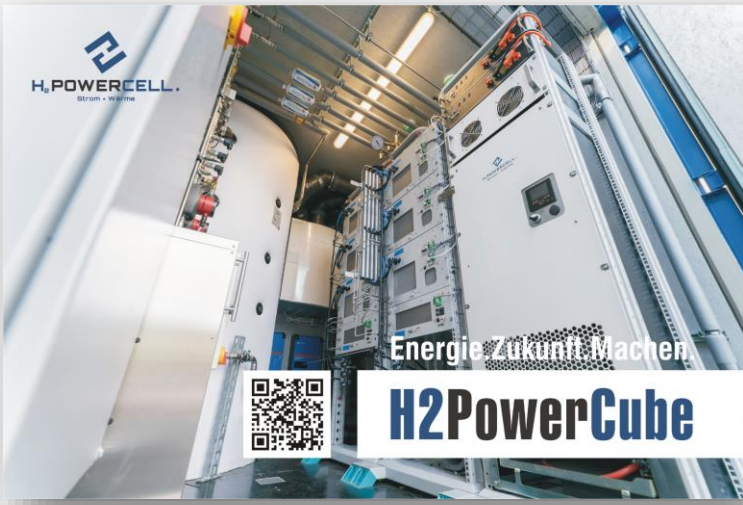
- Standort: unmittelbare Nähe zum Dortmunder Flughafen
- Länge: 500 m, MOP 1, DN 150
- Zusätzliche neue Erdgasleitung für Versorgungssicherung und Ergänzung der Heizleistung
- H₂-Brennwertkessel von remeha 25 kW
- Hochdruckbehälter:
 - DP 40
 - 440 kg Fassungsvermögen
 - Wöchentliche Befüllung von ca. 200 kg geplant
- 4 Gewerbekunden werden umgerüstet (Wärmeversorgung)

Wasserstoff-Inselnetz-Versorgung



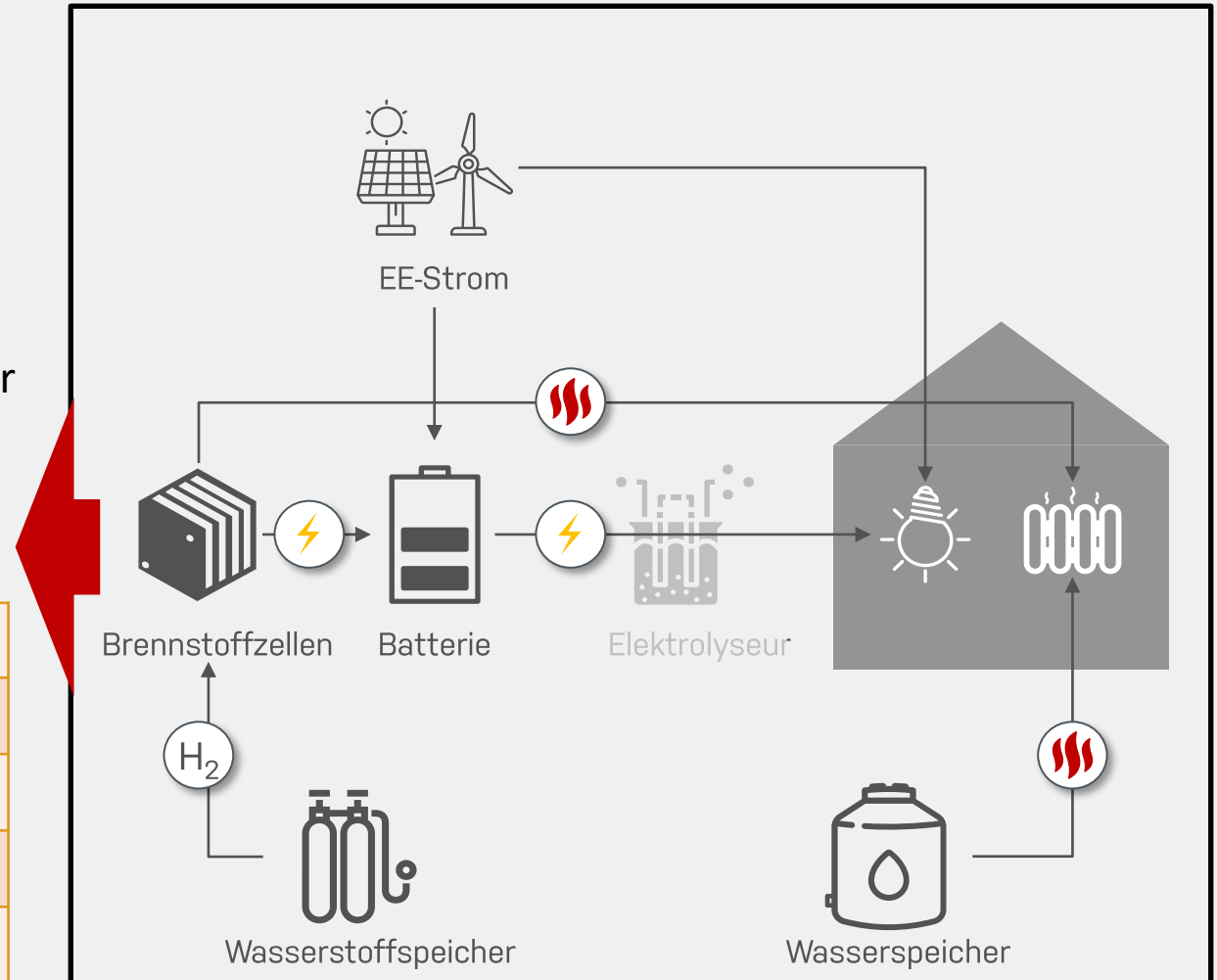
- Umwidmung bestehender Erdgas-Leitungen auf H₂
- H₂-Anlieferung per LKW
- Back-Up Erdgasleitung

AUTARKE GEBÄUDEENERGIEVERSORGUNG



- Simultane Produktion von Strom und Wärme
- Notstromfähig
- Kompakte Bauweise
- Modular erweiterbar
- Fernüberwachung und -support

Elektrische Leistung	5 kW _{el}
Thermische Leistung	9,5 kW _{th}
Wasserstoffqualität	5.0
Wasserstoffverbrauch	70 SLPM
Leitfähigkeit Kühlwasser	10 μS/cm



ANWENDUNGEN VON H₂ IN DER INDUSTRIE



Reaktant oder Prozessgas



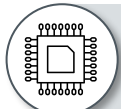
Düngemittelherstellung Ammoniak & Stickstoff



Basischemikalien: Methanol, Ethylen etc.



Erdöl-Raffination



Trägergas für Aktivgase in der Elektrotechnik



Reduktionsmittel in der Metallurgie



Synthetische Kraftstoffe



Brennstoff



Autogenes Schweißen



Brennstoffzellen (Rückverstromung, Fahrzeuge etc.)



Heiz- und Prozesswärme (z. B. Öfen)

AGENDA

1

Wasserstoff – heute und in Zukunft




2

Stationäre Anwendungen von Wasserstoff

3

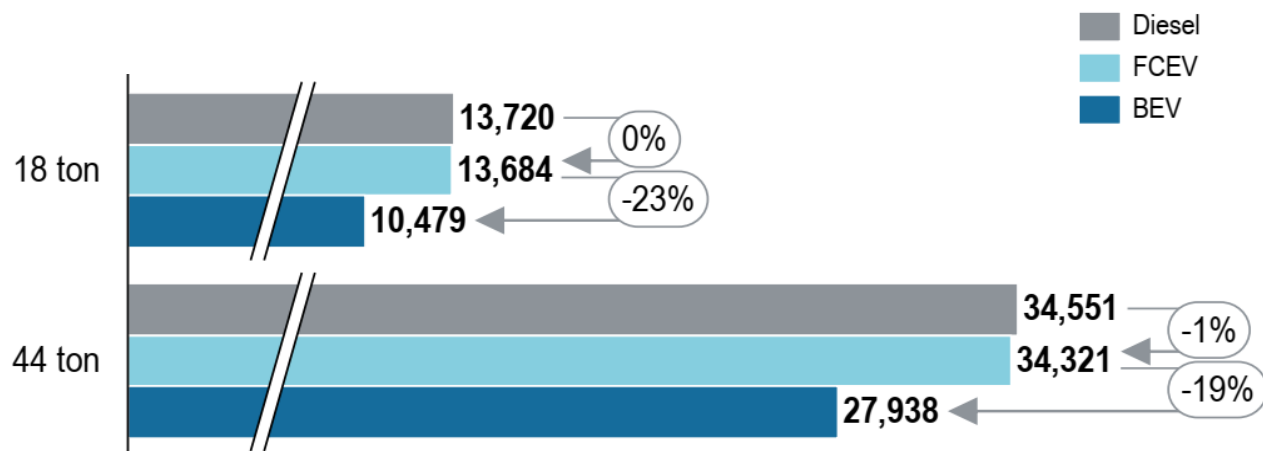
Mobile Anwendungen von Wasserstoff

VERGLEICH DER KRAFTSTOFFSYSTEME

	Antriebsart	Benötigte Energiemenge im Tank	Verbrauch je 100 km	Tanksystemleistung	Reichweite bei 5 min. tanken
Diesel	 500 km	2.011 kWh (200 l; 180 kg)	40 l	Tankstelle 27.000 kW (ca. 50 l / min)	625 km
H ₂	 500 km	1.332 kWh (40 kg H ₂ ; 1,1 t inkl. Drucktanks)	8 kg	HRS 10-12 MW (4-6 kg / min)	250 km
Batterie	 560 km	900 kWh (5.440 kg Li-Ion)	ca. 160 kWh	Ladestation 0,12 MW DC / 1 MW DC (2 / 17 kWh/min)	6 / 53 km

NUTZLASTVERGLEICH BATTERIE- U. BZ-LKW GGÜ. DIESEL

Nutzlastvergleich¹



Schlussfolgerungen

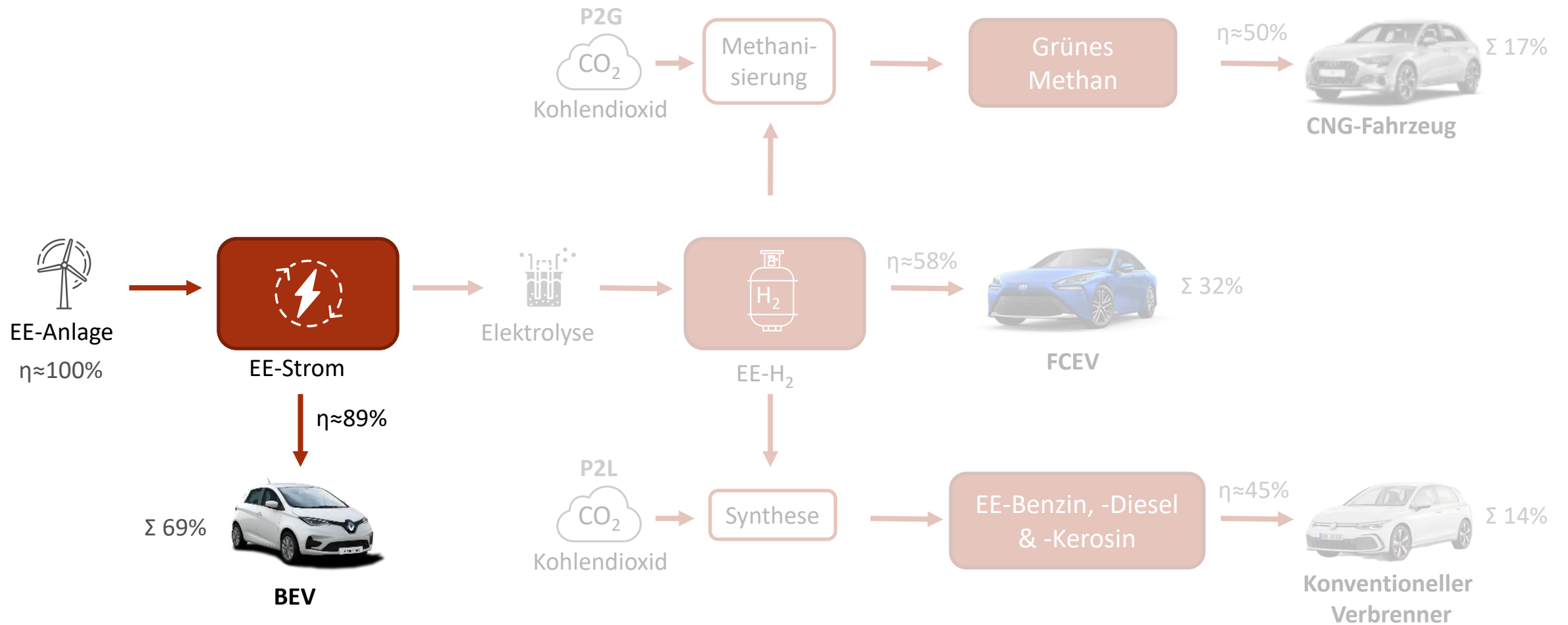
- Bei großen Reichweiten sind Brennstoffzellen-LKW aufgrund der geringeren Nutzlastverringerung wirtschaftlicher
- Bei gleicher Transportmenge sind mehr batterieelektrische LKW erforderlich

➤ Höheres Verkehrsaufkommen

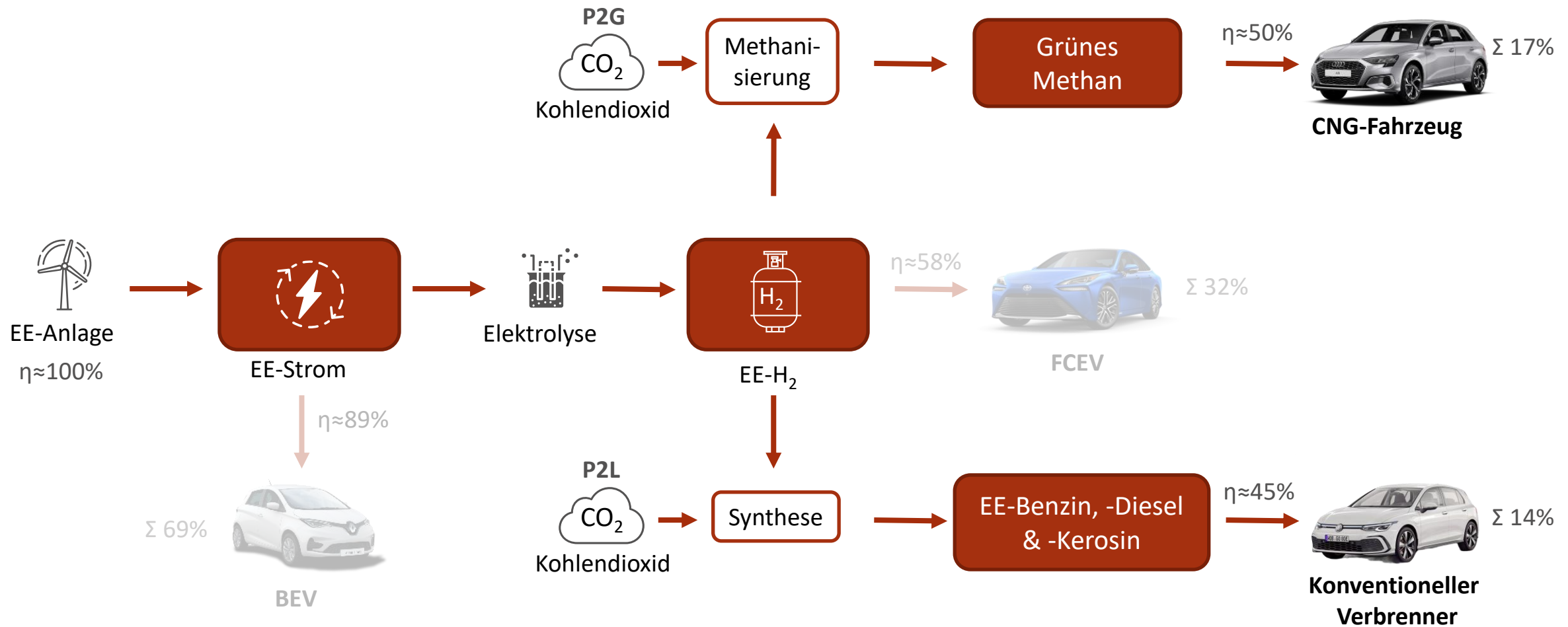
Battery Electric Vehicle
 Fuel Cell Electric Vehicle
 Diesel

¹ US Department of Energy 2016 | Annahme: Reichweite 800 km

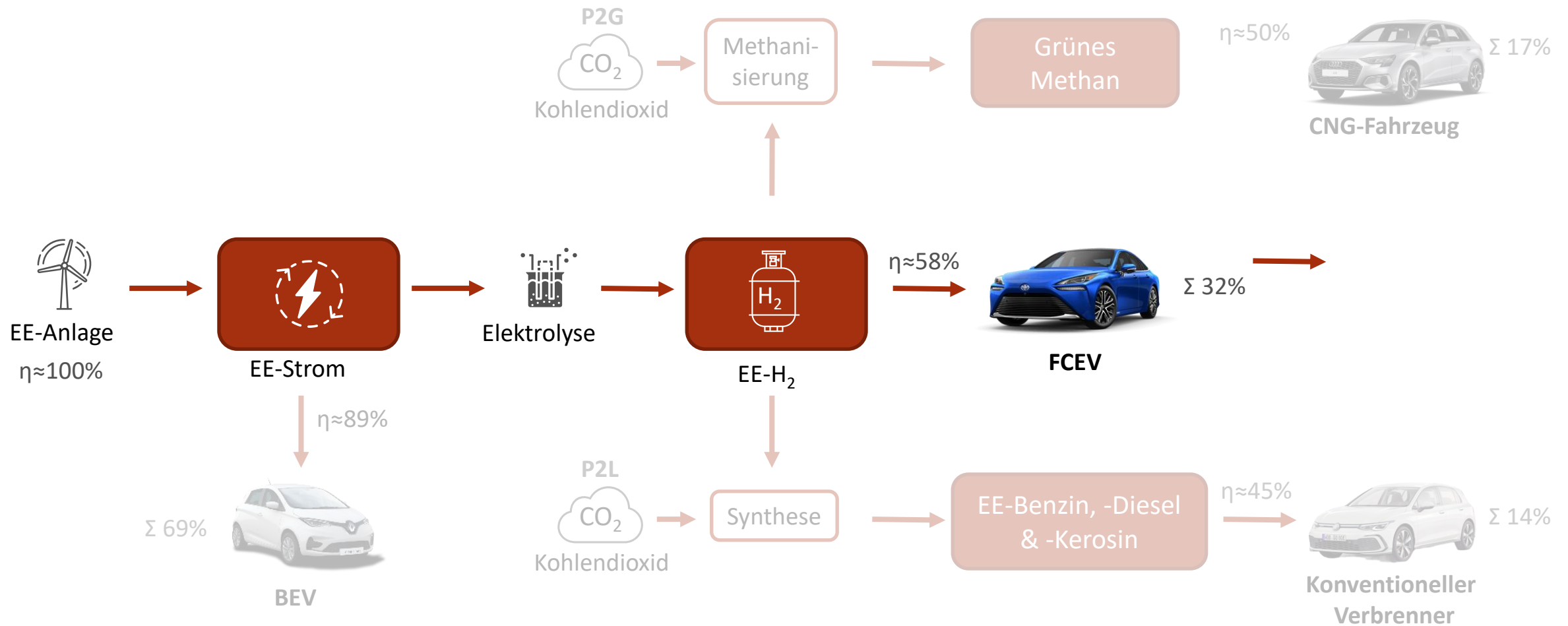
WIRKUNGSGRADKETTE: BATTERIE, H₂ & CO.



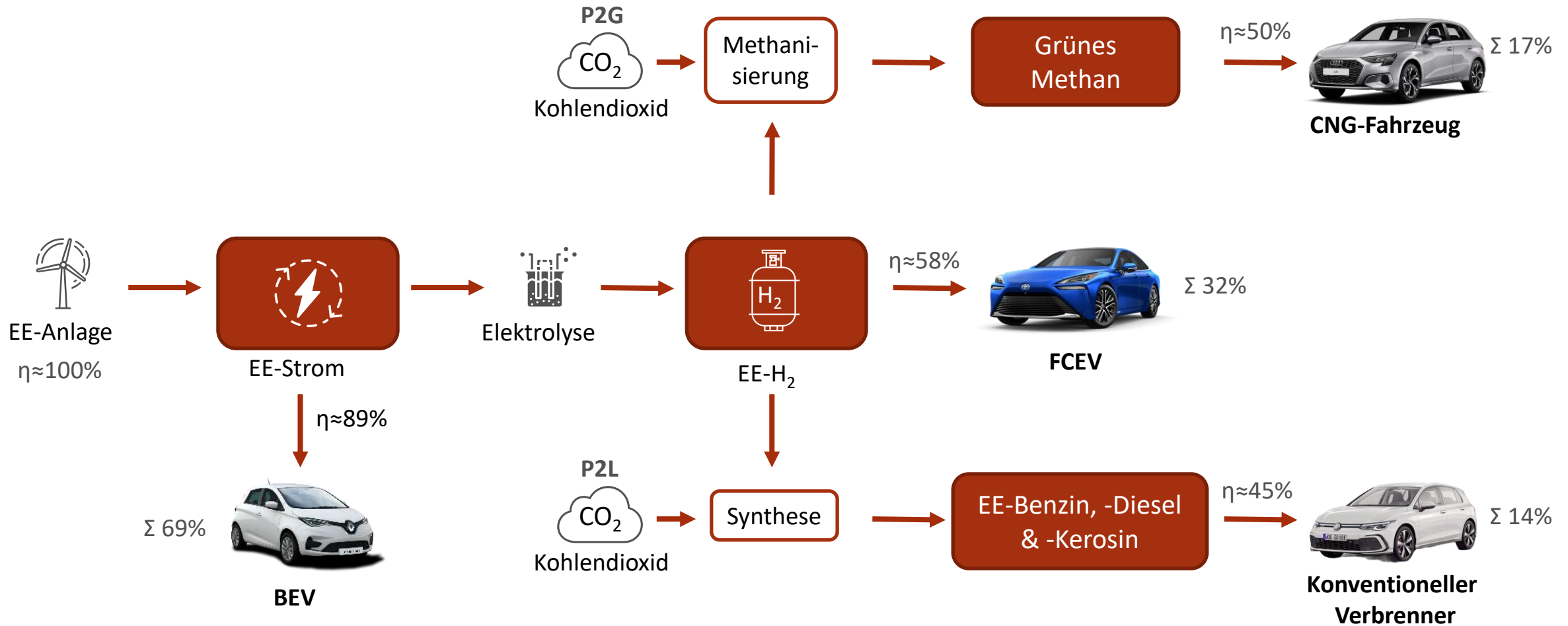
WIRKUNGSGRADKETTE: BATTERIE, H₂ & CO.



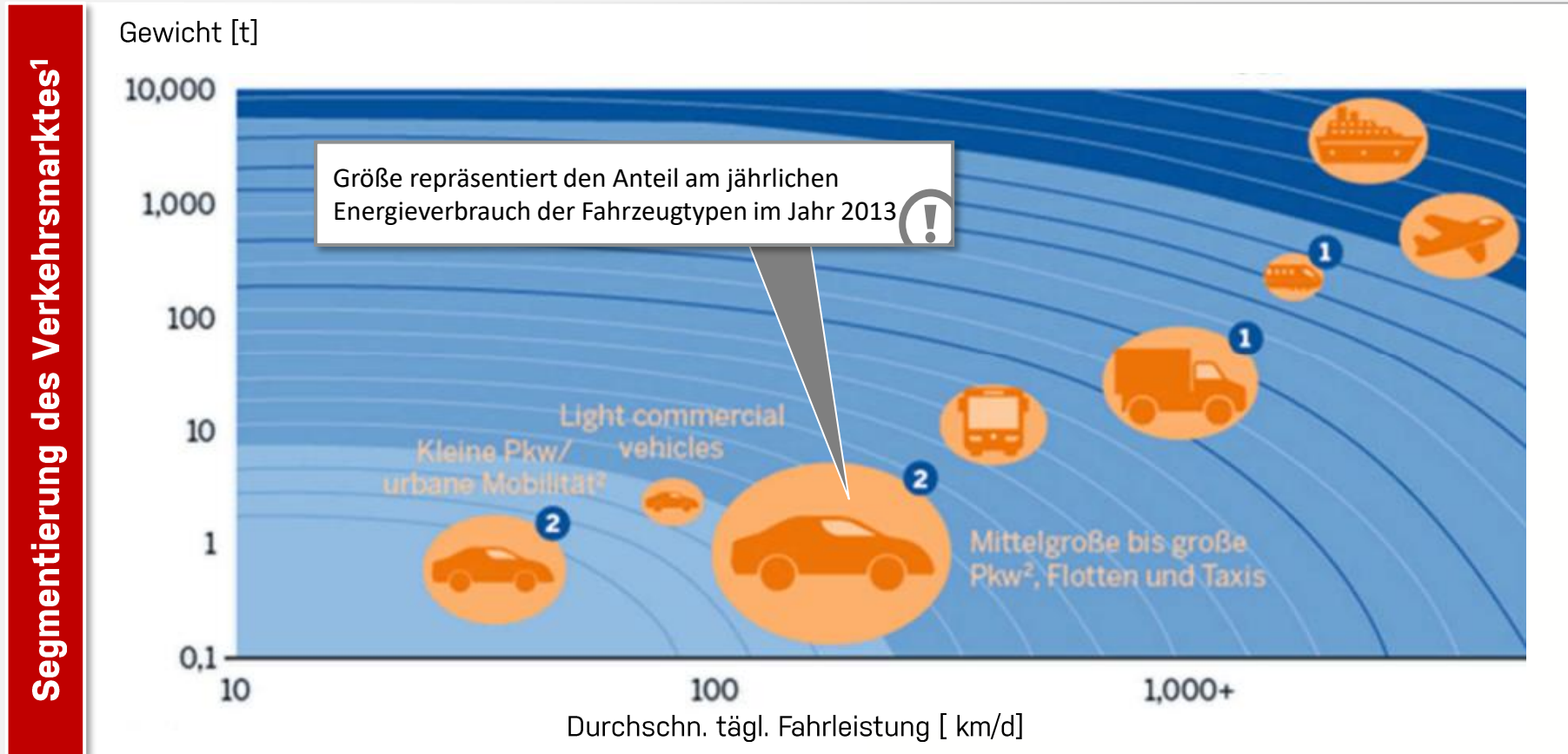
WIRKUNGSGRADKETTE: BATTERIE, H₂ & CO.



WIRKUNGSGRADKETTE: BATTERIE, H₂ & CO.



AUSWAHL DER ANTRIEBSTECHNOLOGIE NACH ANWENDUNGSGEBIET



■ Battery Electric Vehicle

■ Fuel Cell Electric Vehicle

■ Bio- und (H2-basierte) synthetische Kraftstoffe

PKW MIT H₂ AKTUELL ZWEI FAHRZEUGE IN SERIENFERTIGUNG



Toyota - Mirai 2. Generation

Hyundai - Nexo

650 km

756 km

5,6 kg / 0,8 kg pro 100 km

6,3 kg / 0,8 kg pro 100 km

63.900 € - BAFA (3.000 €)

77.200 €

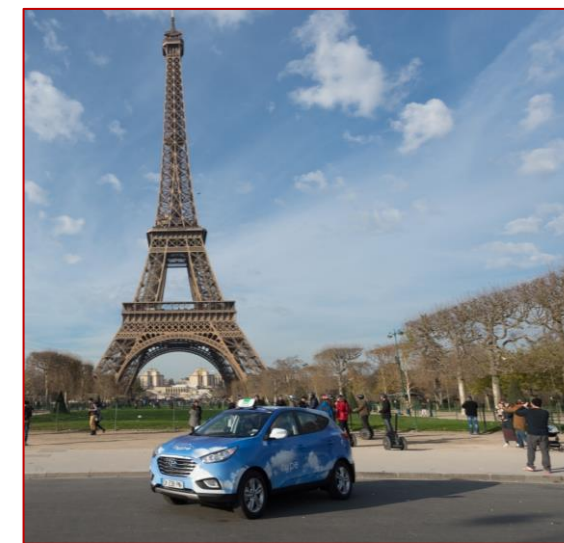
Seit März 2021 in DE

Seit Ende 2019



Société du Taxi Electrique Parisien (STEP)

Brennstoffzellen-Taxis in Paris



> 100 Fahrzeuge im Betrieb

> 500 km am Tag

SCHWERE UND LEICHTE NUTZFAHRZEUGE MIT H₂ VERSCHIEDENER HERSTELLER

L-LKW



LKW



1 Renault | 2 Stellantis | 3 Holthausen | 4 Quantron | 5 Hyundai | 6 Hyzon | 7 Daimler | 8 Enginius | 9 Clean Logistics | 10 Paul Hydrogen Power | Iveco Nikola

SONDERFAHRZEUGE

Müllfahrzeuge



Faun



Hytrucks / Geesinknorba



HS-Fahrzeugbau

Kehrmaschinen /
Hakenfahrzeuge



Faun



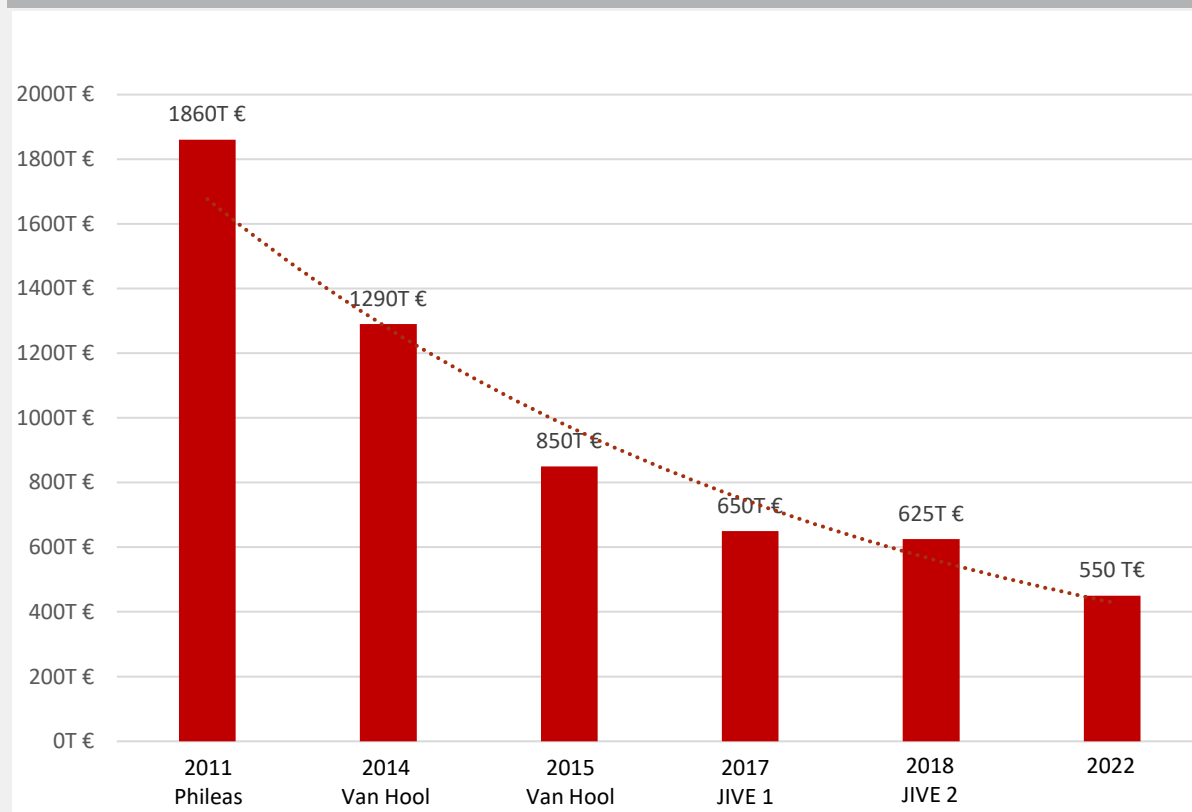
Holthausen



Palfinger

BRENNSTOFFZELLEN-BUSSE

Preisentwicklung von 12 m H₂-Bussen



Aktuelle Modelle



Solaris



Van Hool



Skoda



Caetano



Wright Bus



Rampini

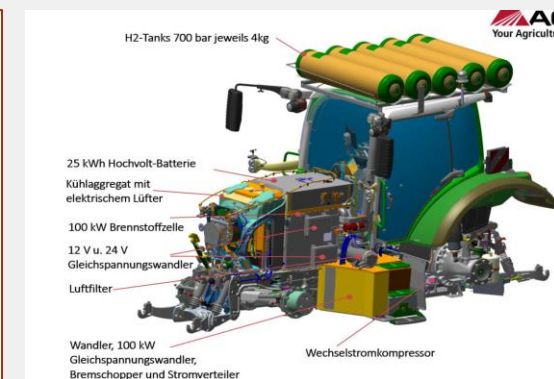


Clean Logistics



Karsan

LAND- UND BAUMASCHINEN



Hyundai Motors und Hyundai Mobis



Liebherr 916



EOX 175



Fendt



Serienproduktion ab 2023 geplant



Prototyp Januar 2023 vorgest.



In Entwicklung



In Entwicklung / H2AGRAR



Nicht näher bekannt



Brennstoffzelle von zepp.solutions (NL)



Brennstoffzelle / Batterie



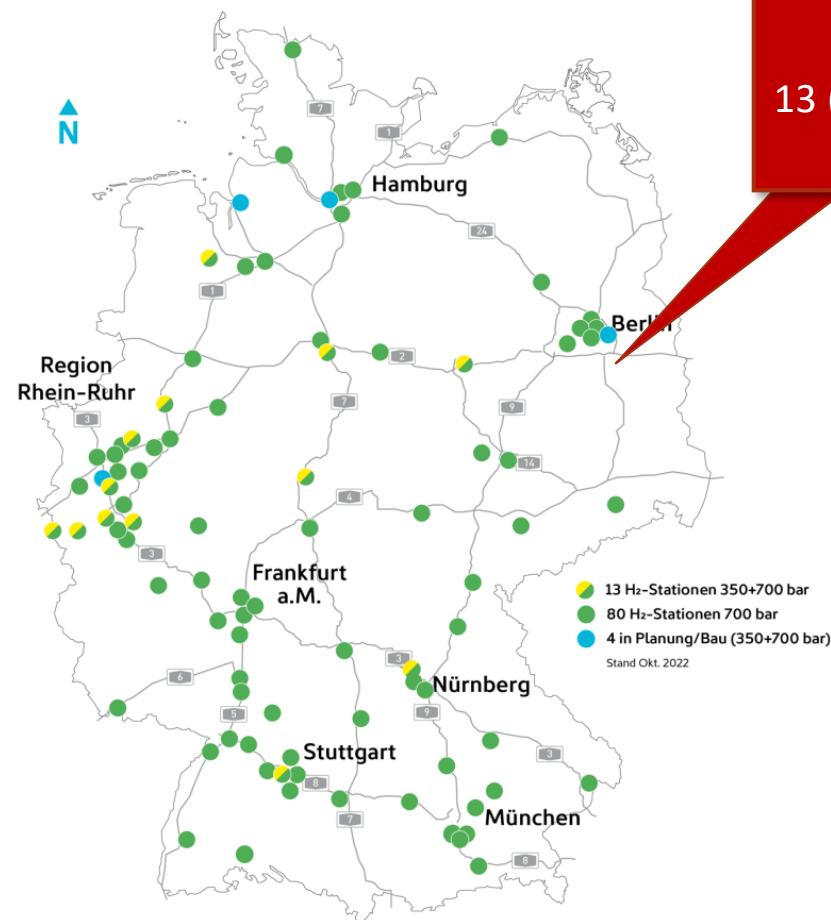
Brennstoffzelle

TANKSTELLEN-INFRASTRUKTUR

Entwurf der Alternative Fuel Infrastructure Regulation – AFIR:

- Alle 100 km eine H2-Tankstelle bis 2028 (urspr. alle 150 km bis 2030) entlang der sog.. TEN-T Korridore → ca. 140 Tankstellen entlang der 14.000 Autobahnkilometer
- Kapazität 6 t/Tag

H2 MOBILITY Netzwerk



80 öffentliche
700 bar Tankstellen zzgl.
13 (+4) 350/700 bar Tankstellen
(Stand Oktober 2022)

Quelle: H2 Mobility

FAZIT

- Wasserstoff wird elementarer Bestandteil des künftigen Energiesystems
- Erzeugung überwiegend mittels Elektrolyse, aber auch alternative Verfahren möglich
- Deutschland kann seinen Wasserstoffbedarf nicht selbst decken, sondern ist auf Importe angewiesen
- Breitgefächertes Anwendungsspektrum
 - Stationär zur Gebäudeenergieversorgung oder für Industrieprozesse als Erdgasersatz
 - Mobil in Brennstoffzellenfahrzeugen, die im Vgl. zu Batteriefahrzeugen größere Reichweiten, höhere Nutzlasten und kürzere Betankungszeiten aufweisen und auch im Winter keine Leistungseinbußen haben

KONTAKT



Dr. Frank Koch
Senior Consultant

Tel.: +49 173 724 1853

E-Mail: koch@energy-engineers.de

