



Emissionsfreie Mobilität im Verkehr mit Batterie- oder Wasserstoffbrennstoffzellenfahrzeugen

DFK Regionalgruppe Essen

Vortrag 10.03.2021



**Dr. Albrecht Möllmann - Vorstand HyCologne –
Wasserstoff Region Rheinland e.V. , Hürth**

Vortragsinhalte

- **Ausgangssituation und Grundlagen**
- **BEV : Batteriefahrzeuge und deren Aufladung**
- **FCEV: Wasserstoff-Brennstoffzellen Fahrzeuge, Betankung**
- **Vergleich BEV – FCEV**
- **Treiber für BEV – FCEV**
- **Wasserstoffherstellung und Verteilung**
- **Anwendung von Wasserstoff in Verkehrssystemen**
- **Ausblick: Förderung der H2 Technologie in NRW**



Ausgangssituation: Überschreiten von Grenzwerten



...CO₂, NO_x

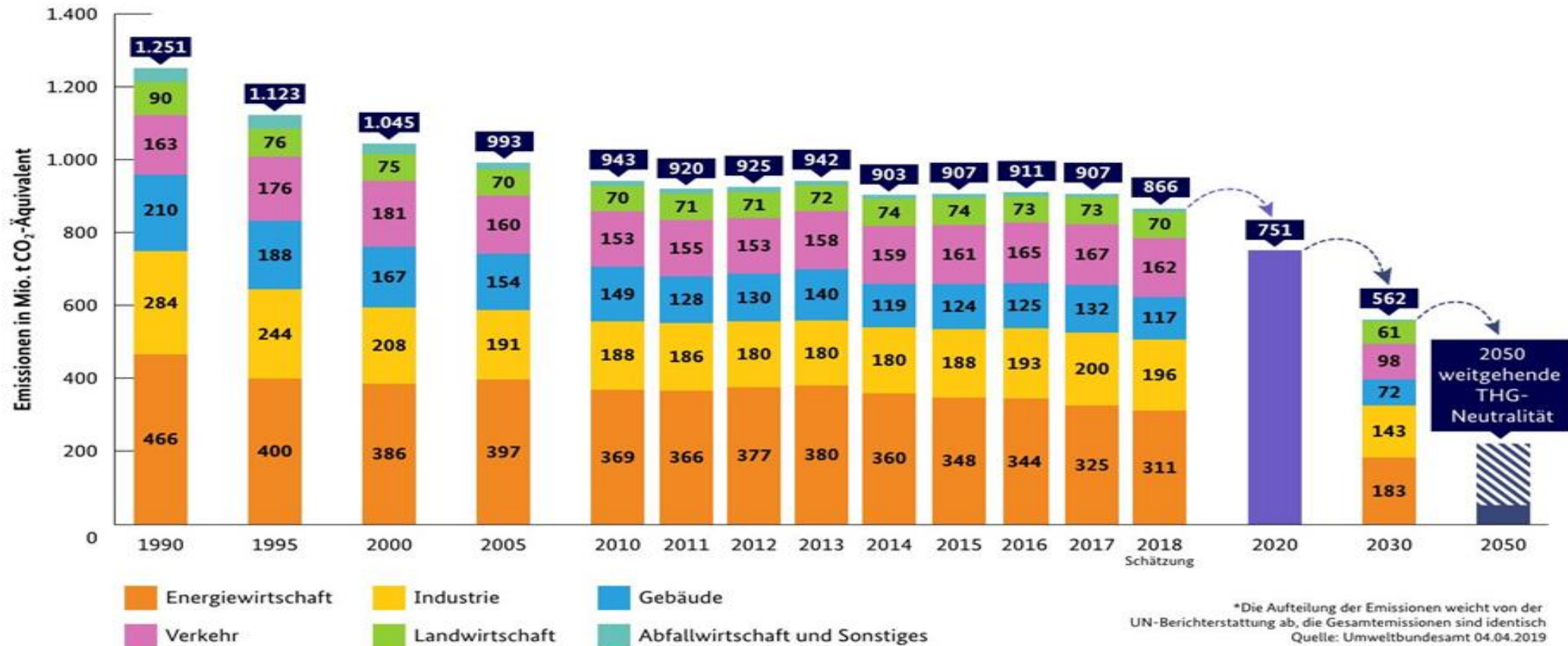


Feinstaub, Lärm



Ziel: Erreichen der vereinbarten Emissionen gemäß den Klimaschutzvereinbarungen

Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in der Abgrenzung der Sektoren des Klimaschutzplans 2050*



Wasserstoff

ElektroMobilität NRW

EnergieAgentur.NRW

Wasserstoff (H₂) – Eigenschaften und Verwendung

Eigenschaften

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



Verwendung

- Wasserstoff wird seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt
 - Chemische Produkte: Ammoniaksynthese (Düngemittel), Methanolsynthese (Kunststoffe)
 - Kraft- und Schmierstoffe: Hydrierung, Cracken; Margarineherstellung; Glasindustrie
 - Bedarf: zunehmend
- Wasserstofferzeugung weltweit:
 - 96 % fossil (Erdgasreformierung: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$; $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)
 - 4 % Elektrolyse
 - Jährlich: 50 Mio. t oder 1.650 TWh (2 Mio. T in D)
 - Überschuss in NRW: 35.000 t/a (aus CI-Elektrolyse), ausreichend für 300.000 PKW oder 6.000 Busse

Verkehr muss Emissionsreduktion liefern:



Umstellung auf Elektromobilität

Definition der Elektromobilität

- **Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge (Elektromobilitätsgesetz - EmoG)**

§ 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieses Gesetzes sind ein elektrisch betriebenes Fahrzeug:

- ein reines Batterieelektrofahrzeug,
- ein von außen aufladbares Hybridelektro-fahrzeug oder
- ein Brennstoffzellenfahrzeug,

➤ Decarbonisierung des Verkehrs durch Elektromobilität

Elektromobilität - Antriebsarten

Elektromobilitätsgesetz (EmoG)

§ 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieses Gesetzes sind

1. ein elektrisch betriebenes Fahrzeug:
ein reines Batterieelektrofahrzeug,
ein von außen aufladbares Hybridelektrofahrzeug
oder ein Brennstoffzellenfahrzeug,

Batterie-elektrische Fahrzeug



Wasserstoff-Brennstoffzellen-Fahrzeug



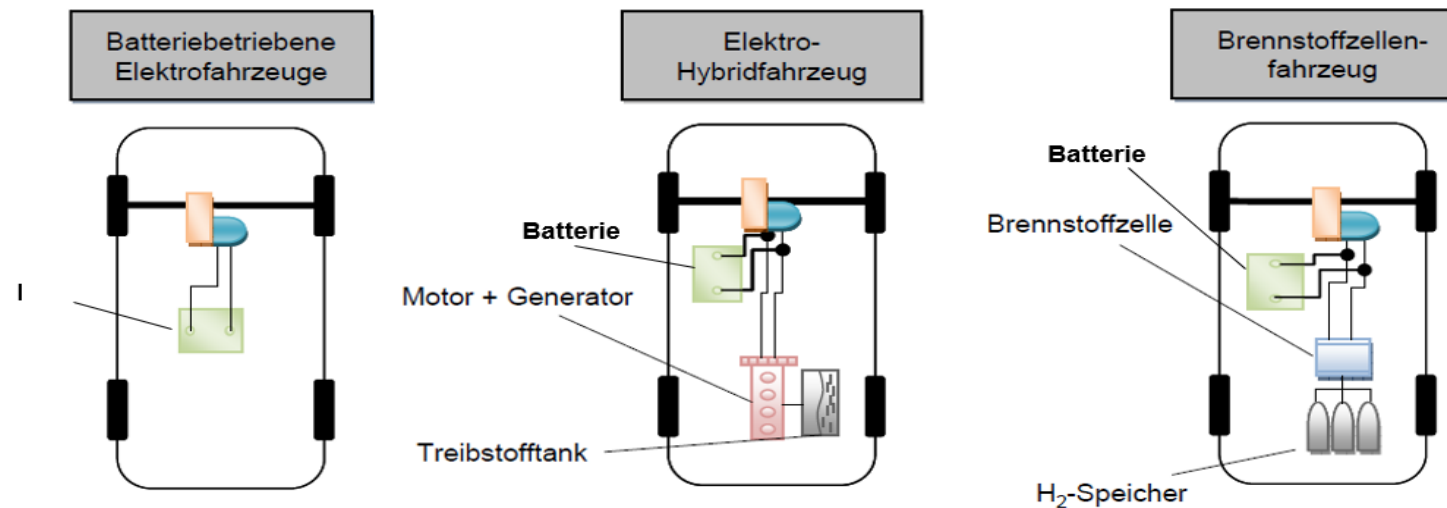
Hybridelektrofahrzeug



Elektromobilität -Vergleich der elektrischen Antriebsarten

www.DLR.de • Chart 24 > Rathaus Stuttgart, 7.5.2014

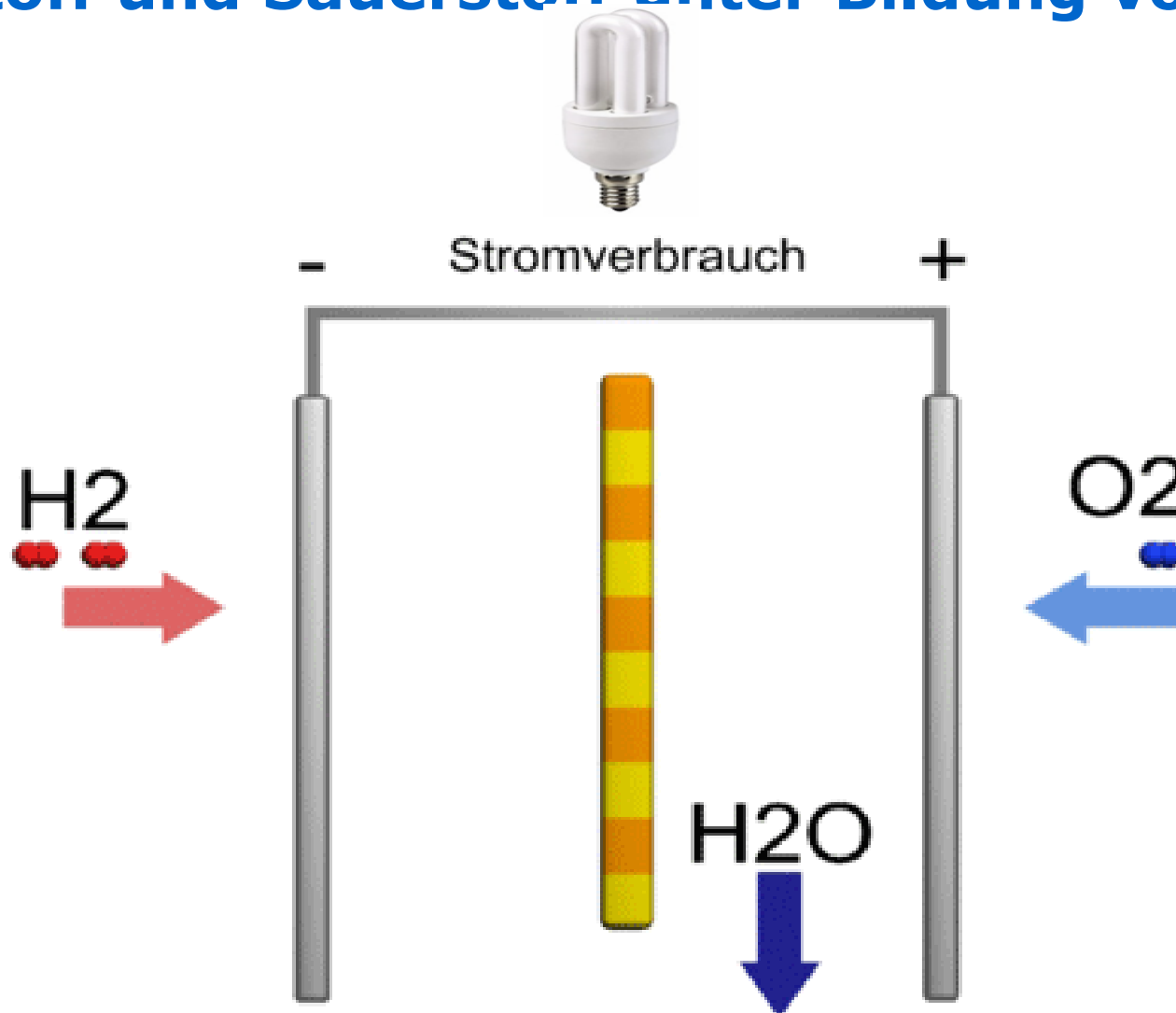
Antriebskonfigurationen von Elektrofahrzeugen



Erzeugung von „grünem“ Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser mit grünem Strom: möglich durch PV und Windkraft



Stromerzeugung in Brennstoffzellen: durch Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff unter Bildung von Wasser

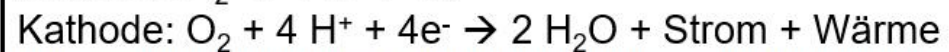
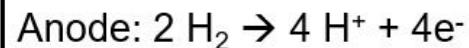
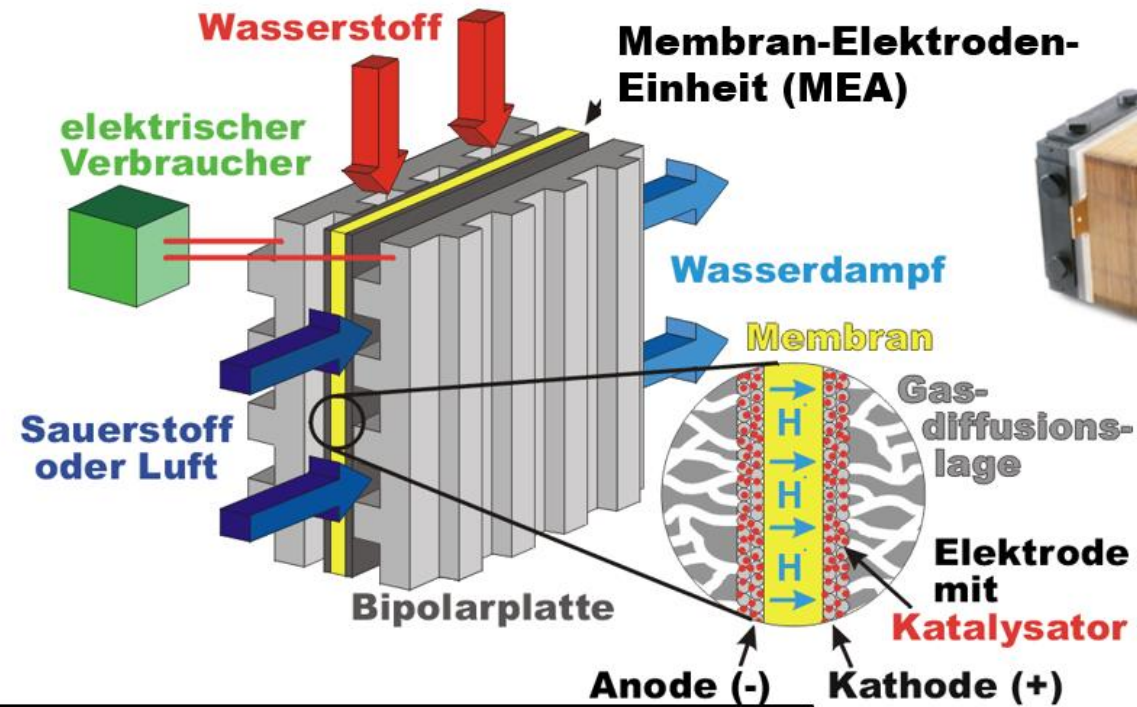


Aufbau einer Brennstoffzelle

ElektroMobilität NRW

EnergieAgentur.NRW

Aufbau einer Brennstoffzelle



Brennstoffzellen-Stack (Stack)



Batterieelektrische PKW: Leuchtturm TESLA



Ladesäule für Elektrofahrzeuge



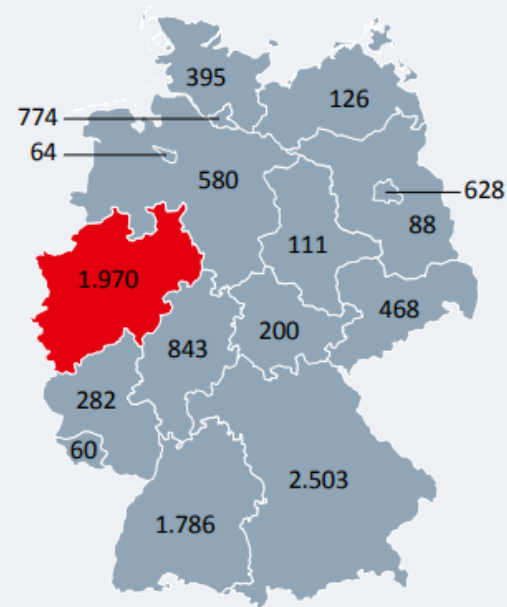
Elektrische „Betankung“ eines PKW (TESLA)



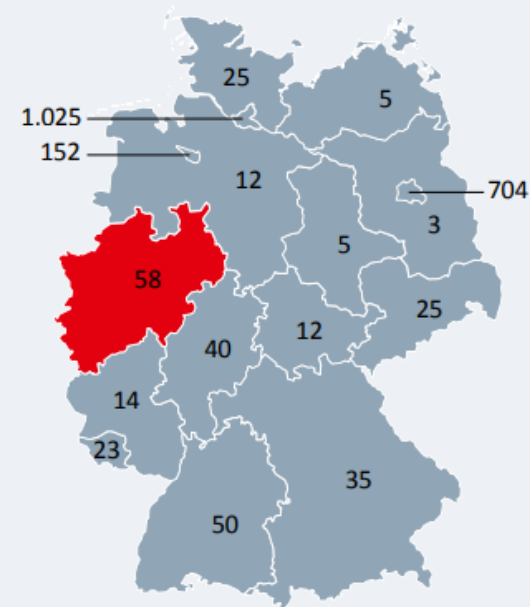
Ladeinfrastruktur - öffentlich

Öffentlich zugängliche Ladepunkte

10.878 Ladepunkte



Öffentlich zugängliche Ladepunkte je 1.000 km² des Bundeslands



Quelle: BDEW Erhebung Juni 2017 | Berechnung ElektroMobilität NRW

<https://www.elektromobilitaet.nrw.de>

Wasserstoff Brennstoffzellen PKW: Leuchtturm Toyota MIRAI (seit 2015)



<https://vimeo.com/505091741/c7a47832ef>

Antriebsstrang des Toyota MIRAI



Der Toyota MIRAI von „innen“



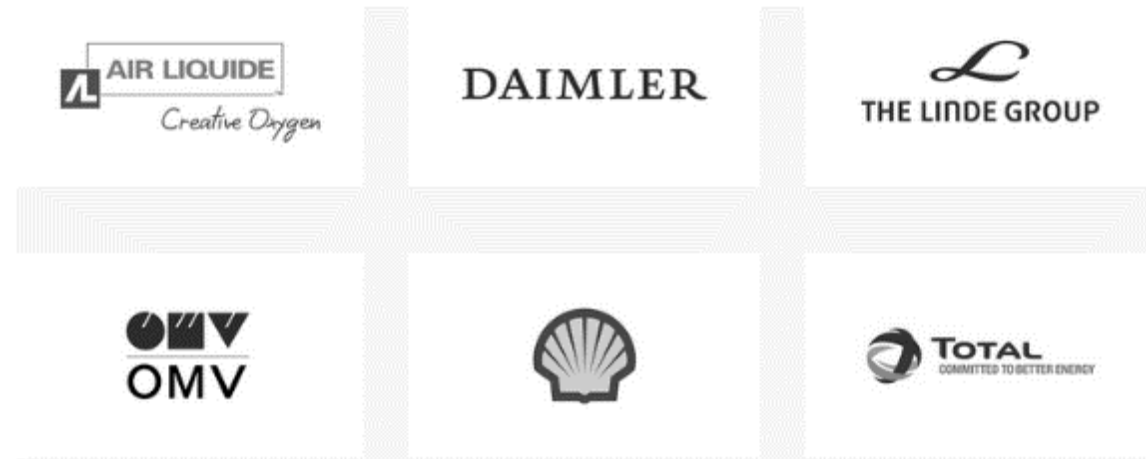
Ladeinfrastruktur

Bestand und Ausbaupotenziale von Wasserstofftankstellen



<http://h2tankstellen.cleanenergypartnership.de/>

Ziel: 100 Wasserstoffstationen bis 2019, Stand 2021 01: 90, 5 Inbetriebnahme, je 6 in Planung und Genehmigung



Sechs Unternehmen sowie fünf assoziierte Partner aus der Automobil-, Gas- und Mineralölindustrie haben sich zur H₂ MOBILITY zusammengeschlossen. Das gemeinsame Ziel: eine flächendeckende Infrastruktur für die Wasserstoffmobilität in Deutschland.

Wasserstofftankstelle Flughafen Köln-Bonn



Wasserstofftankstelle - Bedienungsunterstützung



H2 Tankeinfüllstutzen



H2 – Betankung über einen Hochdruckschlauch



Brennstoffzelle des Mirai



Wasserstoff - und elektrische Betankung vor Ort



Reichweite und Füllmenge an H₂



Hyundai IX35 (seit 2014)





Next Generation FCEV

Hyundai Nexo



Brennstoffzellen-PKW's:

ElektroMobilität NRW

EnergieAgentur.NRW

Heutige Brennstoffzellen-PKW



Daimler F-CELL, 350 km Reichweite
(nicht mehr erhältlich)



Hyundai IX 35, 500 km Reichweite (nicht mehr erhältlich)



Renault HyKangoo, 300 km Reichweite
Batterie mit 5 kW Range-Extender
350 bar und 700 bar Version



Toyota Mirai, Reichweite 450 km

Brennstoffzellen-PKW: Neue Modelle

ElektroMobilität NRW

Neue Brennstoffzellen-PKW



Mercedes GLC ab 2018
Brennstoffzelle als Range-Extender (REX)
450 km Reichweite (50 km mit Batterie)



Streetscooter Work L mit Bz-REX ab 2019
500 km statt 167 km Reichweite

EnergieAgentur.NRW



Honda Clarity seit 2016 in Japan
500 km Reichweite



Hyundai Nexo ab August 2018
800 km Reichweite (NEFZ)

Vergleich BEV - FCEV

TESLA Model 3



TOYOTA Mirai



Antriebsstrang

Batterie

Brennstoffzelle + Batterie

Reichweite

320 km

450 km

Zeit für Tankvorgang

30-120 Minuten

3 Minuten

Vergleich Batterie - Brennstoffzelle

www.DLR.de • Chart 8 HyCologne – 12.12.2016

Vergleich Batterie- und Wasserstofffahrzeuge

Batteriefahrzeug

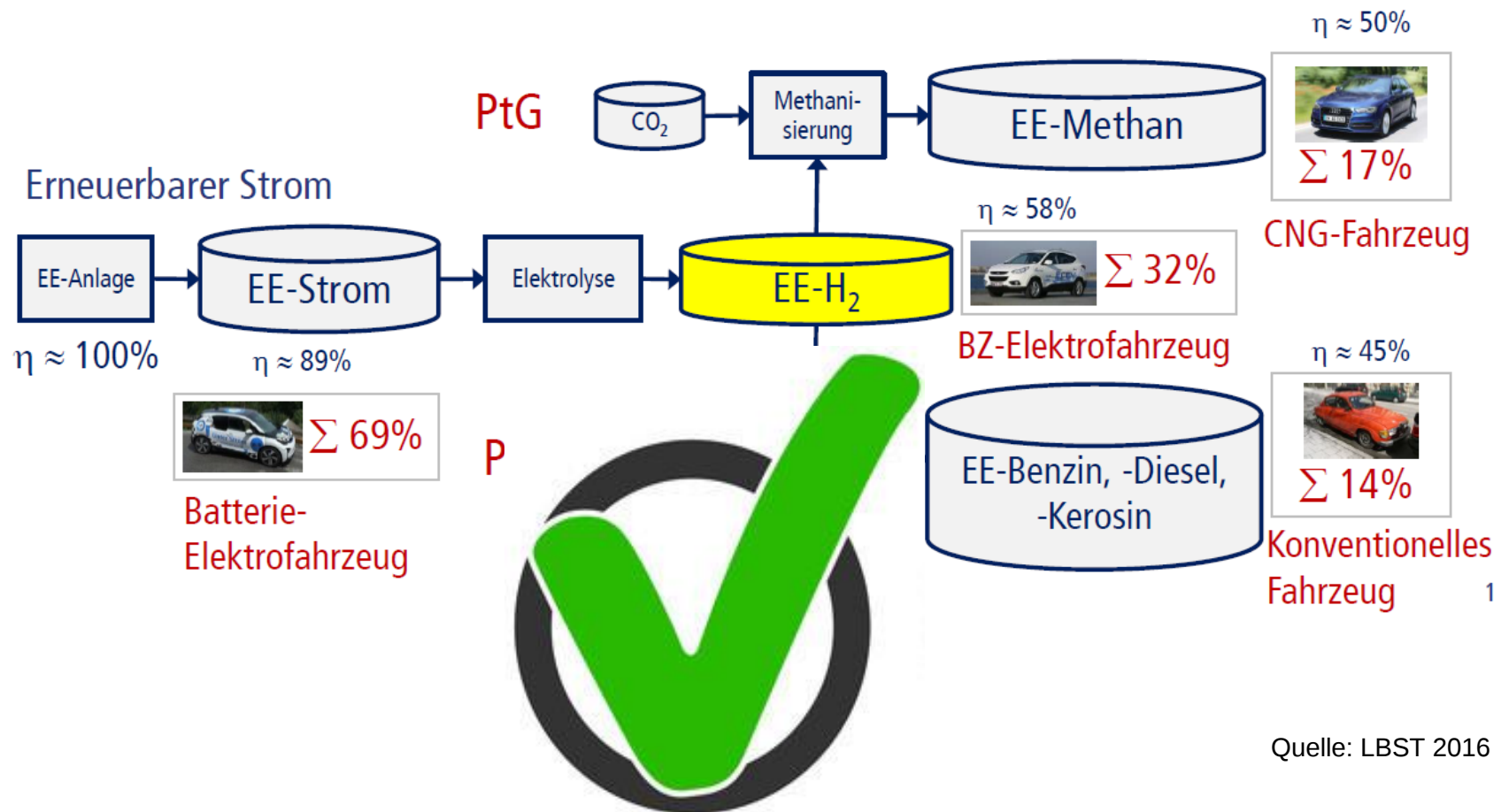
- + Lokale Emissionsfreiheit
- + Steigende Modellzahl
- + Höchste Effizienz
- + Normierter e-Kraftstoff
- + Private Ladeinfrastruktur
- Hohe Kosten
- Öffentliche Ladeinfrastruktur
- Ladezeiten lang
- Reichweite
- CO₂-Reduktion abhängig von %EE

Wasserstofffahrzeug

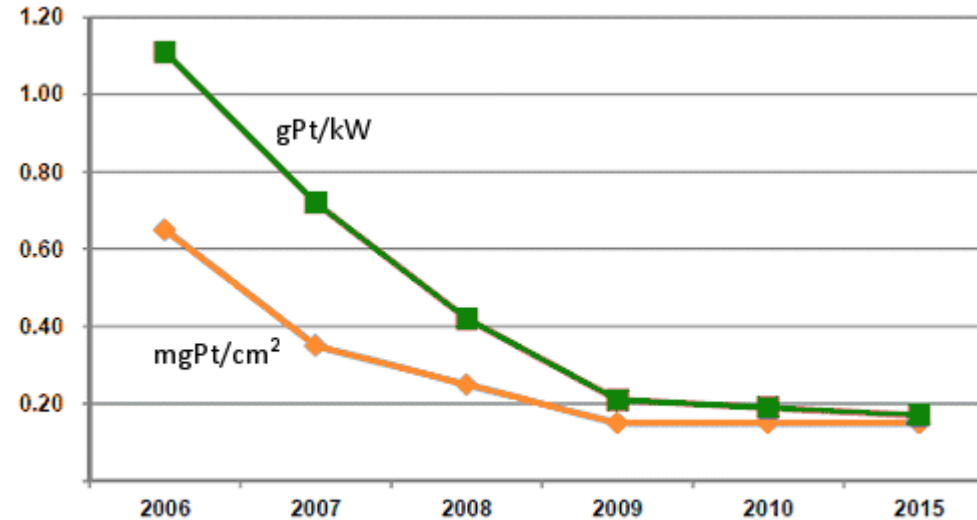
- + Lokale Emissionsfreiheit
- + Ladezeit 3 Min.
- + Gute Effizienz
- + Reichweite akzeptabel
- + CO₂-Reduktion schnell möglich
- Hohe Kosten
- Fehlende Tankinfrastruktur
- Zuverlässigkeit
- Keine Modellauswahl
- Einfacheres Wärme-management



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



„Platin macht die Brennstoffzellen teuer“



Source: [4]

Platinbedarf einer 100 kW Brennstoffzelle für PKW:

2000: 240 g

2006: 118 g

2015: 18 g

2018: 10 g

Platinpreis (9.4.18): 754 €/Feinunze (31 g) → Wert in der Brennstoffzelle: 243 €



„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

„Wasserstofftanks sind undicht“

- Komposittanks (Typ III und IV) für Druckwasserstoffspeicherung sind
- technisch dicht

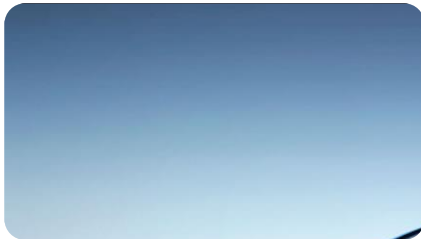


Fahrzeugzulassungen

***Fahrzeugpreismaximum:
60.000 € !**

**Anzahl der Anträge für den
Umweltbonus*:
361622
Stand :11 2020**

**Batterie-elektrische Fahrzeuge
217901**



**Wasserstoff-
Brennstoffzellen-
Fahrzeuge
178**



**Plug-In Hybride:
143543**



Förderung: Umweltbonus + Herstelleranteil

- Zuschuss für Privatpersonen, Unternehmen, Stiftungen, Körperschaften, Vereine
- beim Kauf oder Leasing eines neuen Elektrofahrzeuges aus einer Liste förderfähiger Modelle
- zur Hälfte durch die Automobilhersteller (Eigenanteil) und zur Hälfte durch einen Bundeszuschuss (Bundesanteil) gewährt
- für mindestens 300.000 Fahrzeuge

9.000 €

**Batterie-elektrische
Fahrzeuge**



7500 €

**Wasserstoff-Brennstoff-
zellen-Fahrzeuge**



6750 €

Plug-In Hybride



•Ausblick

Nutzfahrzeuge: Beispiel Fa. FAUN



Energieversorgung

ZUVERLÄSSIG
FORTSCHRITTLICH

- **Brennstoffzellenleistung ist Dauerleistung**
 - 30 kW: Range Extender, Stadtverkehr, hält die Batterien auf hohem SoC
 - 60 kW: Überlandverkehr, höhere Geschwindigkeiten über längere Zeit
 - 90 kW: Autobahn, konstante Fahrt mit 80 km/h über längere Zeit
- **Batteriekapazität bietet Dauer- und Spitzenleistung sowie Rekuperation**
 - 2 x 85 kWh für 2 x 10 to Abfallsammlung (mit Zwischenladung)
- **Wasserstofftanks bieten Reichweite**
 - Bis zu 400 km bei voller Tankbestückung

ilität

FAUN
KIRCHHOFF GRUPPE

Weitere Einsatzgebiete von H₂ BZ Systemen :

Müllfahrzeuge und LKW



Züge



PKW und Tankstellen



Energie



EU: FuelCell Hydrogen-Joint Undertaking – Projekt zur Einführung von H2-BZ-Bussen in Europa

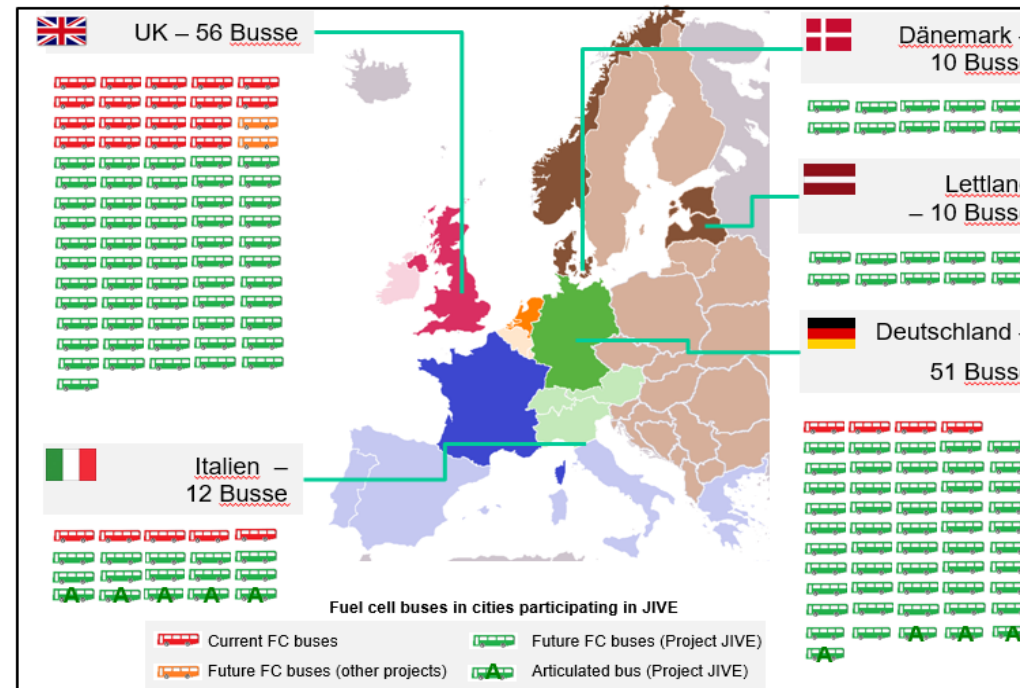
ElektroMobilität NRW

EnergieAgentur.NRW

EU Projekt JIVE

JIVE: Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe

- Projektbeginn Januar 2017
- Volumen: 106 Mio. €
- 139 Busse, 3 Bus-tankstellen
- 9 Städte, aus NRW:
Regionalverkehr Köln 30 Busse,
Wuppertaler Stadtwerke 10 Busse
- JIVE 2 gestartet mit 150 weiteren Bussen:
RVK + 15 Busse,
WSW + 10 Busse



**H2 Brennstoffzellen Zug von ALSTOM –
erfolgreich im Einsatz auf der Strecke
Bremerhaven nach Stade: >>100 000 km
bereits absolviert !**



H2 Brennstoffzellen Demo Truck von COOP in der Schweiz : 1600 Hyundai LKW's werden in der Schweiz beschafft und 100 Tankstellen errichtet





H2-BZ-U-Boot der Bundesmarine



Vorstellung eines bereits realisierten Wasserstoff Projektes: H2-Tankstelle in Hürth: **Nebenprodukt** Wasserstoff aus der Chemie wird in H2-BZ- Bussen des ÖPNV „vertankt“ – Busse fahren emissionsfrei

Nebenprodukt Wasserstoff aus chemischer Produktion



- Über **4.300 Betankungen**
- Mehr als **47.000 kg Wasserstoff** vertankt (nur Busse)
- Emissionsvermeidung über **290 Tonnen CO_{2eq}**
- Laufleistung der beiden in 2014 beschafften H2-Busse **über 280.000 km** mit einer Verfügbarkeit von über **97%**

Wasserstoff-Tankstelle



H2-Busse für den ÖPNV



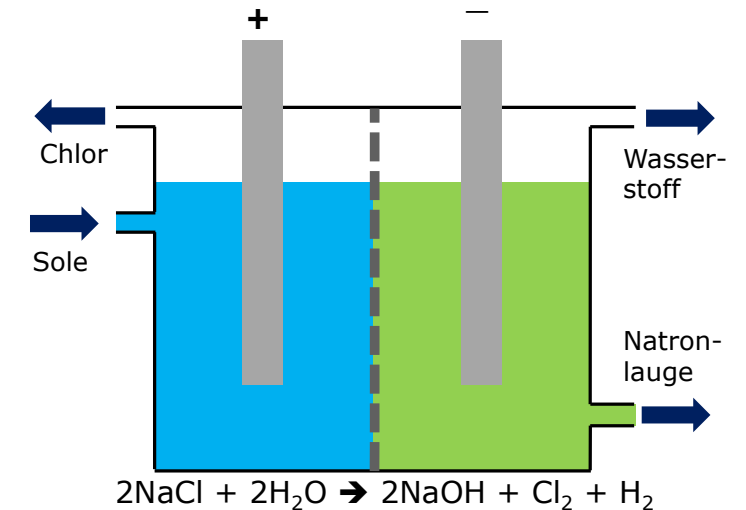
Nebenprodukt Wasserstoff

Was ist das?

Nebenprodukt Wasserstoff

- entsteht als Nebenprodukt bei der Herstellung chemischer und petrochemischer Produkte, z.B. bei der Chloralkali-Elektrolyse oder beim Steam Cracking
- fällt in der Kölner Chemieregion in mehreren Werken an, u.a. in den Chemieparks Knapsacker Hügel, Lülsdorf, Worringen, Wesseling
- muss in der Regel aufbereitet und von anderen Stoffen separiert werden
- wird heute z.T. thermisch verwertet

Chloralkali-Elektrolyse

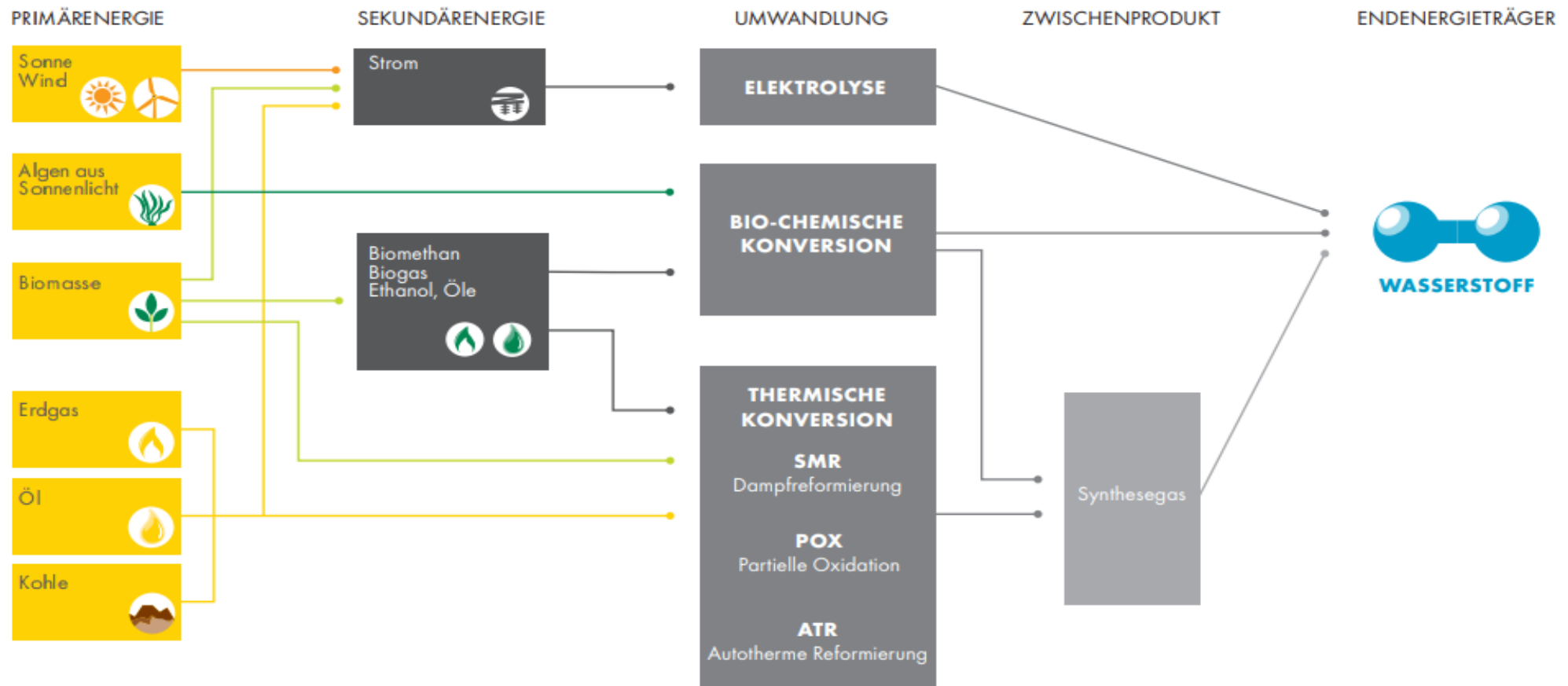


Steam Cracker



Wasserstoffherzeugung: Verfahren

6 VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON WASSERSTOFF



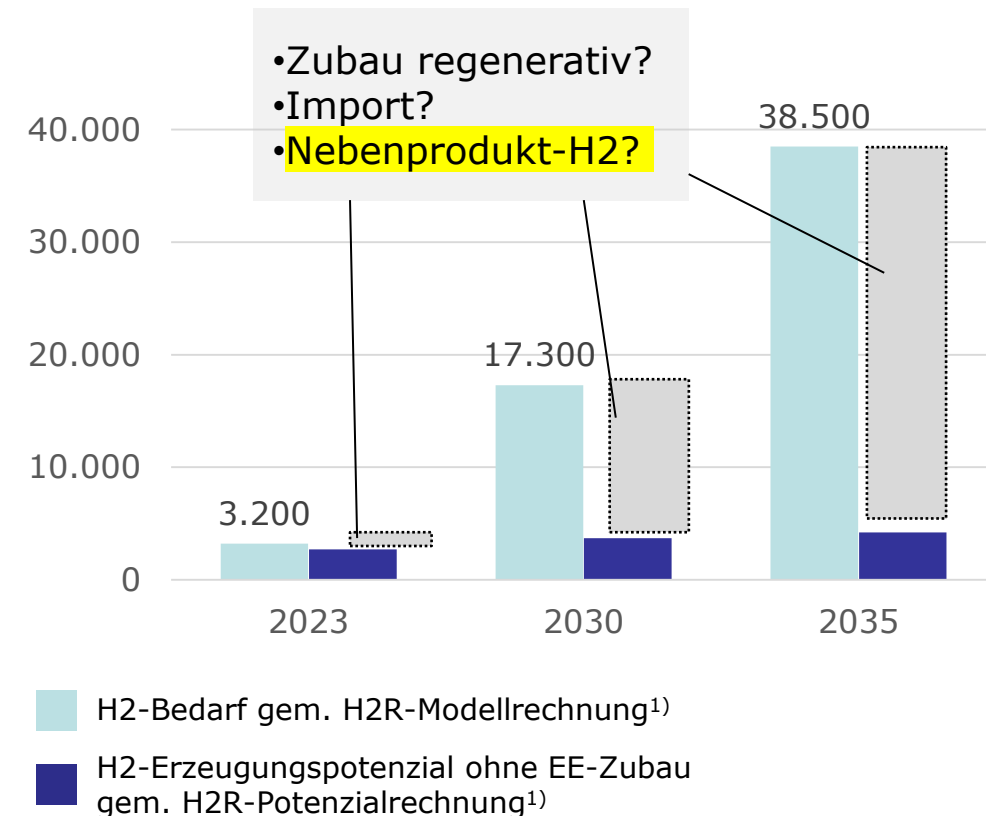
Quelle: SHELL WASSERSTOFF-STUDIE <https://www.shell.de>

Nutzung von Nebenprodukt Wasserstoff

Warum?

Nebenprodukt Wasserstoff kann einen bedeutenden Beitrag zur Bedarfsdeckung in der Region leisten

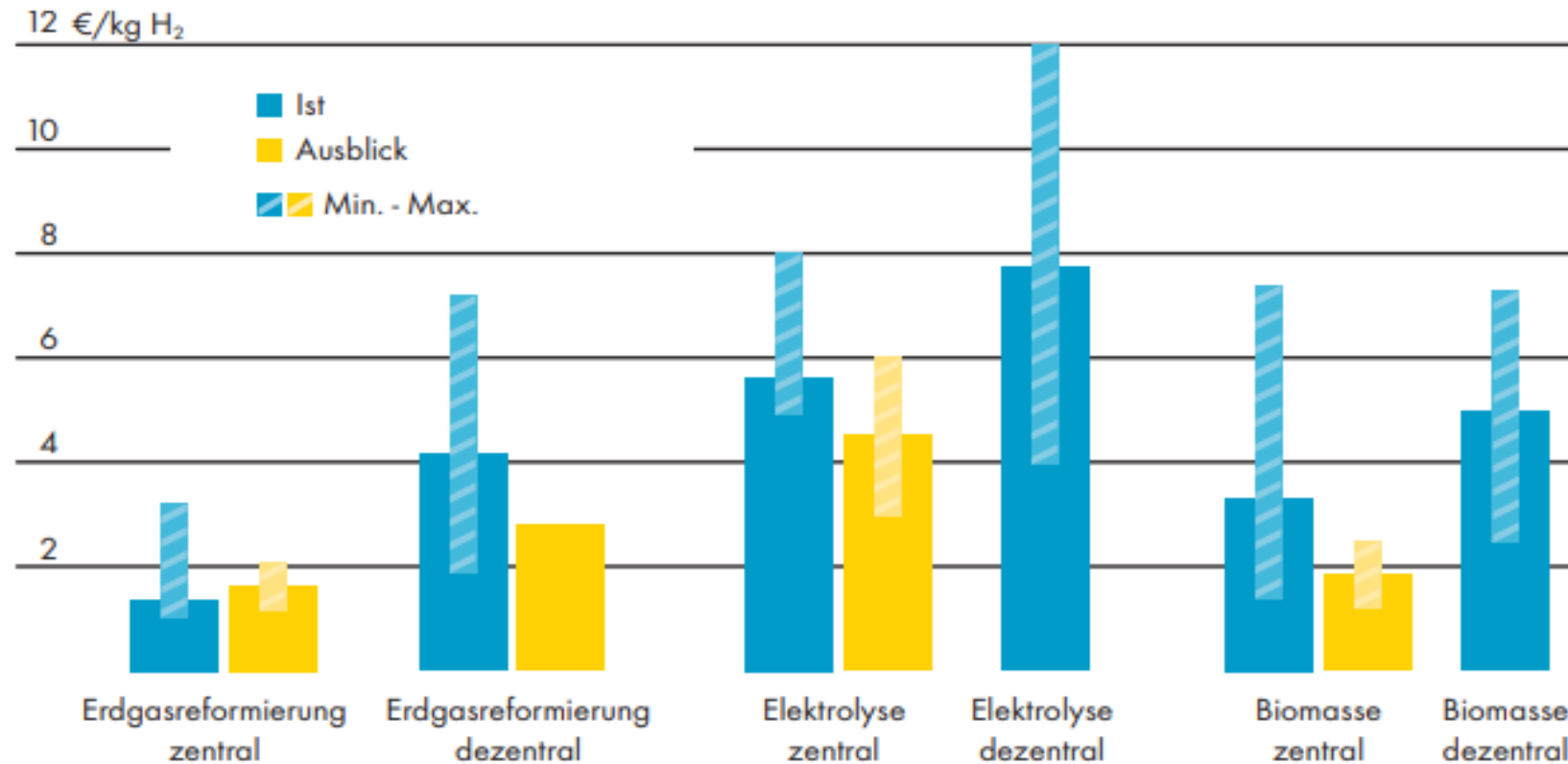
- Erzeugungspotenzial für grünen H2 aus Post-EEG-Anlagen gering
- massiver Zubau der regenerativen Stromerzeugung in der Region wenig vorstellbar
- Nebenprodukt H2 sofort verfügbar
 - Erzeugungspotenzial kurzfristig mind. 2.600 t/a¹⁾
 - Erweiterung auf 15.000 t/a vorstellbar



1) Feinkonzept H2R – Wasserstoff Rheinland

Wasserstoffherzeugung - Kosten

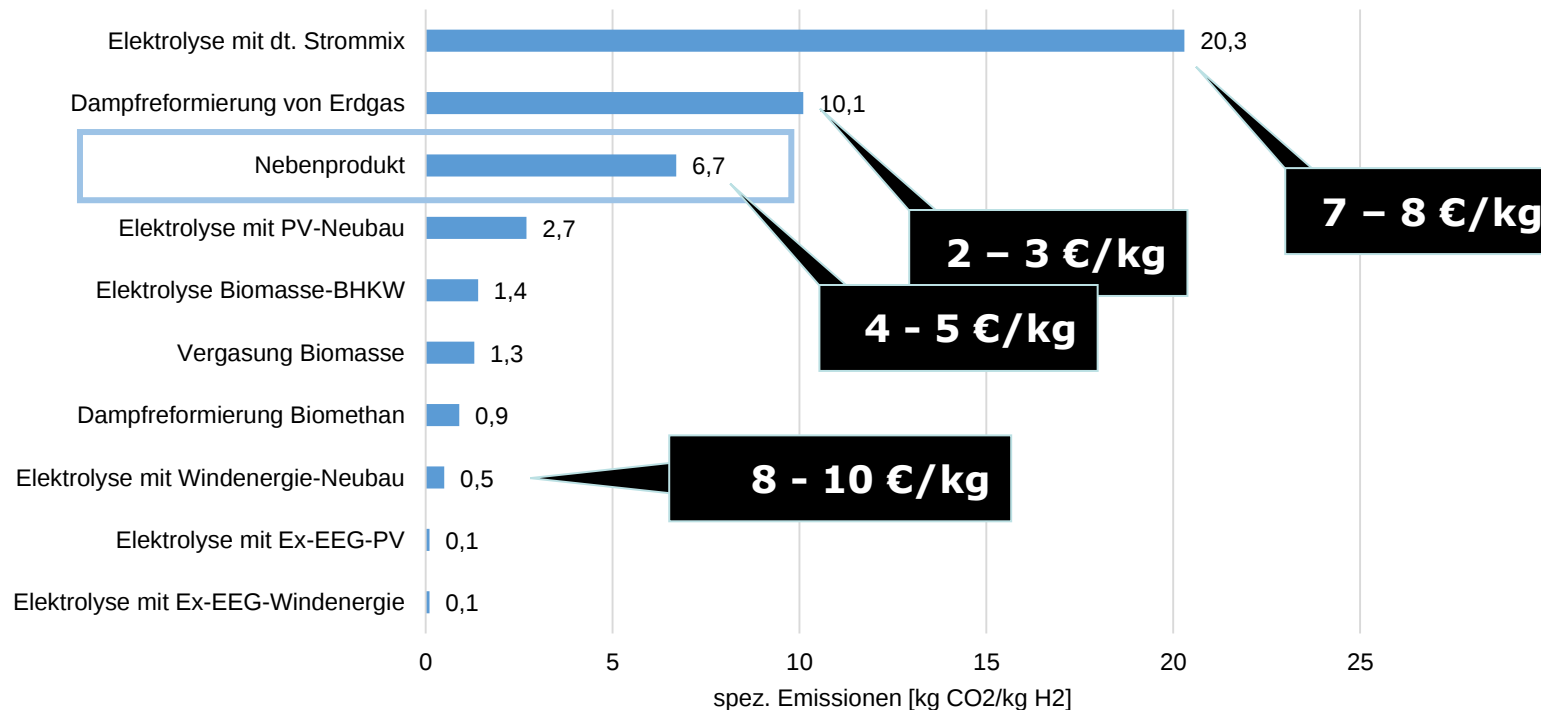
12 ERZEUGUNGSKOSTEN VON WASSERSTOFF



LBST/Hinico 2015; Grube/Höhlein 2013, eigene Darstellung

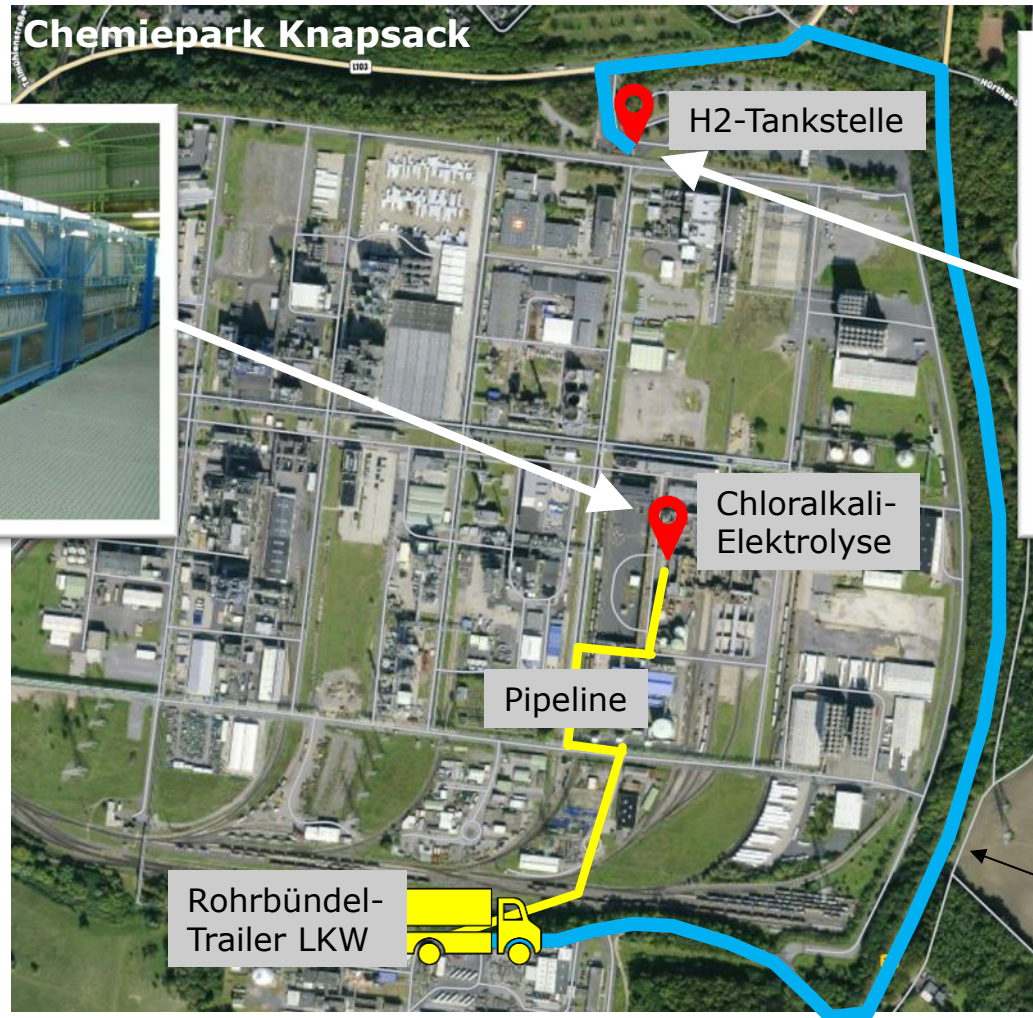
Vergleich CO₂-Erzeugung und Kosten verschiedener H₂-Erzeugungspfade

Spezifische CO₂-Emissionen von Nebenprodukt-Wasserstoff im Vergleich zu verschiedenen alternativen Wasserstofferzeugungspfeiden¹⁾ sowie einschlägige H₂-Erzeugungskosten



1) Quelle: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 71 Jg. (2021) Heft 1/2

Projekt: Wasserstoffversorgung der H2-Tankstelle in Hürth mit Nebenprodukt Wasserstoff einer Chlor-Alkali Elektrolyse des Chemieparks Hürth - initiiert von HyCologne e.V.



Wasserstoff-Tankstelle



- In Betrieb seit 2010 - über 100 t H₂ vertankt
- Kapazität 100 kg/Tag ~ 5 Busse
- Upgrade in 2019 auf 200 kg/Tag ~ 10 Busse

**Virtuelle Pipeline
zur Tankstelle nach
Hürth Knapsack**

Versorgung von H₂ – Tankstellen mittels Trailer





H2 - Transport und Speicherung in Pipelines

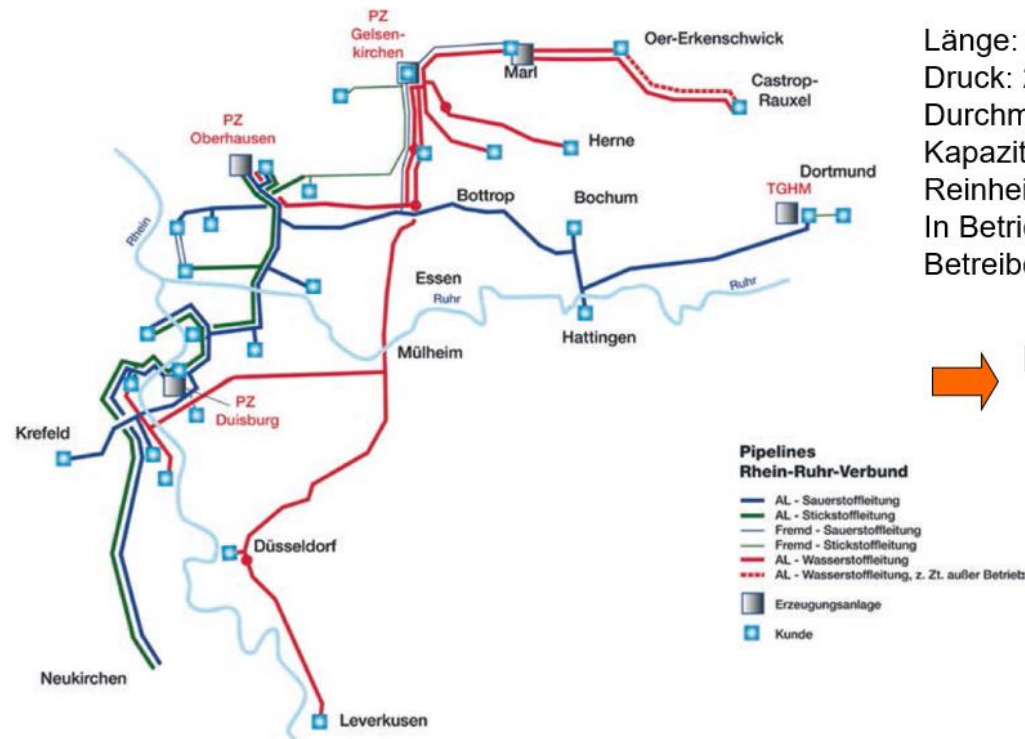


Wasserstoff-Infrastruktur

ElektroMobilität NRW

EnergieAgentur.NRW

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

Pipelines Rhein-Ruhr-Verbund

- AL - Sauerstoffleitung
- AL - Stickstoffleitung
- Fremd - Sauerstoffleitung
- Fremd - Stickstoffleitung
- AL - Wasserstoffleitung
- AL - Wasserstoffleitung, z. Zt. außer Betriebs
- Erzeugungsanlage
- Kunde

Quelle: Air Liquide

6 Kommunen bildeten das Bündnis H2R, um Modellregion für Wasserstoff-Technologie in NRW zu werden



Quelle: wirtschaft.nrw

- Wettbewerbsaufruf durch NRW zur Schaffung einer Modellregion für den flächendeckenden und wirtschaftlichen Einsatz der Wasserstofftechnologie, insbesondere im Mobilitätssektor
- Förderung von drei Regionen durch das Wirtschaftsministerium NRW zur Erarbeitung eines Feinkonzeptes, u.a. auch die Rheinische Region mit H2R

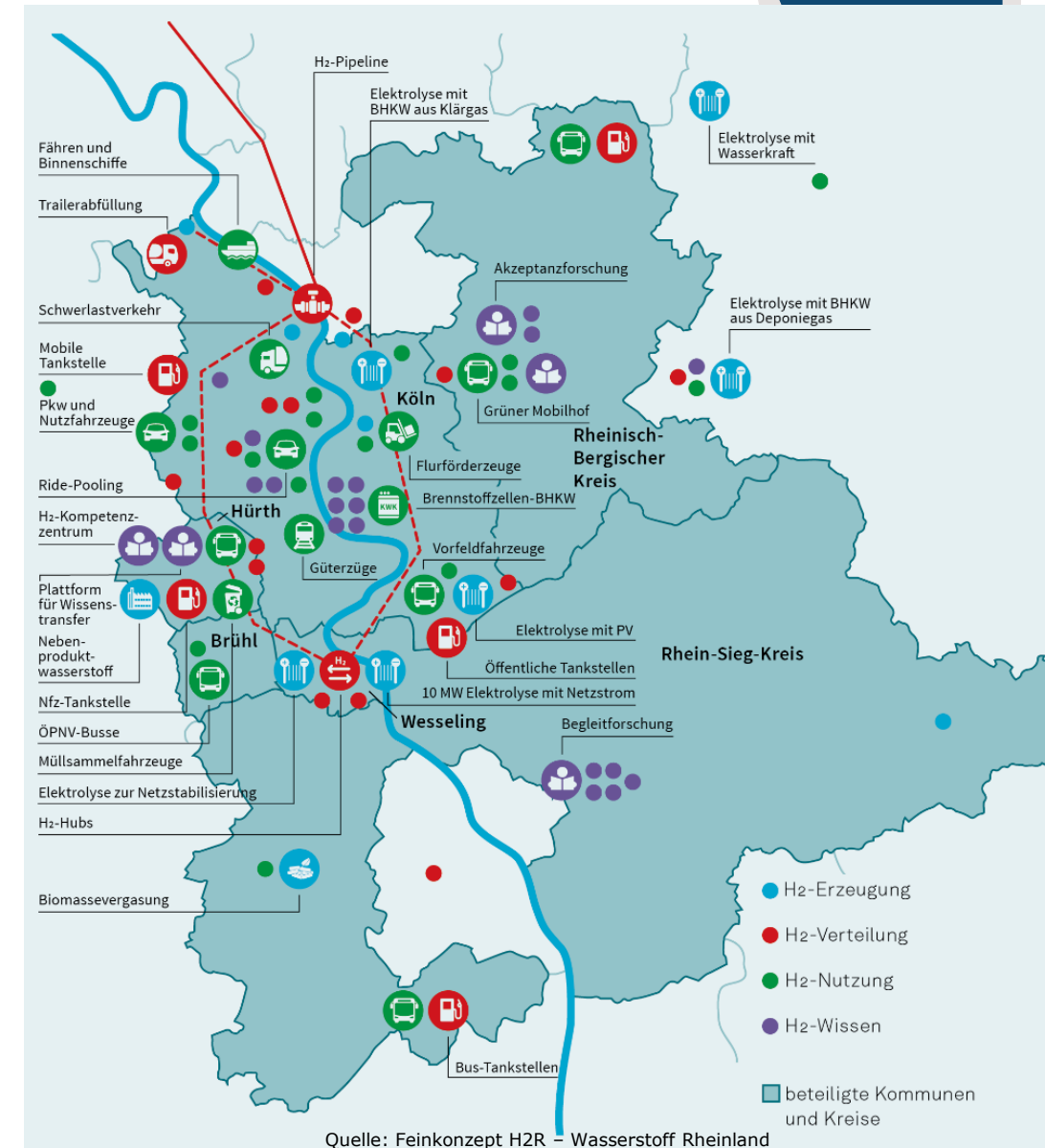


Kommunales Bündnis      	
Koordination 	
Ausarbeitung (Konsortium)       	
Förderung Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen 	

Projektbeispiele aus dem H2R-Feinkonzept*)

- Bau der aktuell größten PEM-Elektrolyse in Europa (REFHYNE bei Shell)
- Brennstoffzellen-Müll-Sammelfahrzeuge
- Flughafen Köln/Bonn
 - H2 Erzeugung durch Photovoltaik und HKW
 - Betrieb der Vorfeld-Fahrzeuge mit H2
 - H2 Tankstelle innerhalb Flughafen-Geländes
- H2-Infrastruktur, LKWs, Intralogistik- und Schienen-Fahrzeuge im Rheinhafen Köln-Niehl und Güterumschlagsbahnhof Köln-Eifeltor
- BZ-betriebene Rheinfähre
- Kölnmesse
 - Flurförderzeuge mit BZ-Antrieb
 - Innovatives Energie-Ökosystem
- H2-Erzeugung durch Biogas sowie Betrieb von Sonderfahrzeugen in den Stadtentwässerungsbetrieben

*) vorbehaltlich der Prüfung von Wirtschaftlichkeit und Machbarkeit



Wo wollen wir hin – längerfristig ?

Wasserstoff für den Strukturwandel fördern



Chancen durch den Einsatz von Wasserstoff gemäß Wasserstoffstudie NRW:

- Zusätzliche Wertschöpfung ca. 1 – 10 Mrd. €/a
- 20.000 – 130.000 Arbeitsplätze

“HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.v.”: Übersicht



Wasserstoff
Region
Rheinland e.V.

- vernetzt 40 Akteure in Politik, Industrie und Forschung im Sinne einer Public Private Partnership, um Projekte im Bereich Wasserstofftechnologie zu initiieren und umzusetzen
- agiert seit 2007 in der Rheinischen Region, ist aber überregional und international anerkannt
- initiierte vor über 10 Jahren den Einsatz von Brennstoffzellen-Bussen im ÖPNV in Hürth, Brühl und dem Rhein-Erft-Kreis mit Nebenprodukt-Wasserstoff
- strebt Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und Marktfähigkeit der Wasserstofftechnologie in Mobilität und Industrie an
- vertritt die Interessen der Mitglieder in politischen und regulatorischen Gremien

Wer sind unsere Mitglieder und Partner ?

40 Akteure der öffentlichen Hand, Wirtschaft und Forschung

Öffentliche Hand



Unternehmen



Forschung



Netzwerke



Erfolgsfaktoren: **Vernetzung:** regional, national und International



HyCologne – Wasserstoff Region Rheinland e.V.: Organisation

- **Vorstand**

- Dr. Albrecht Möllmann – 1. Vorsitzender, amce consulting Hürth
- Carsten Bußjaeger – Stv. Vorsitzender, Regionalverkehr Köln
- Stefan Welsch – Stv. Vorsitzender, Stadtwerke Hürth
- Wolfgang Urmeter – Schatzmeister, Yncoris Hürth
- Marcel Härtel – Stadtwerke Brühl
- Dr. Christian Rasche – Worthington Industries
- Prof. Dr. Ralf Peters – Forschungszentrum Jülich

- **Projektmanager:**

- Carsten Krause – AREVA H2Gen Köln
- Boris Jermer – Sprachkultur GmbH Köln
- Dr. Frank Benzel – Benzel Beratung Köln

- **Beirat**

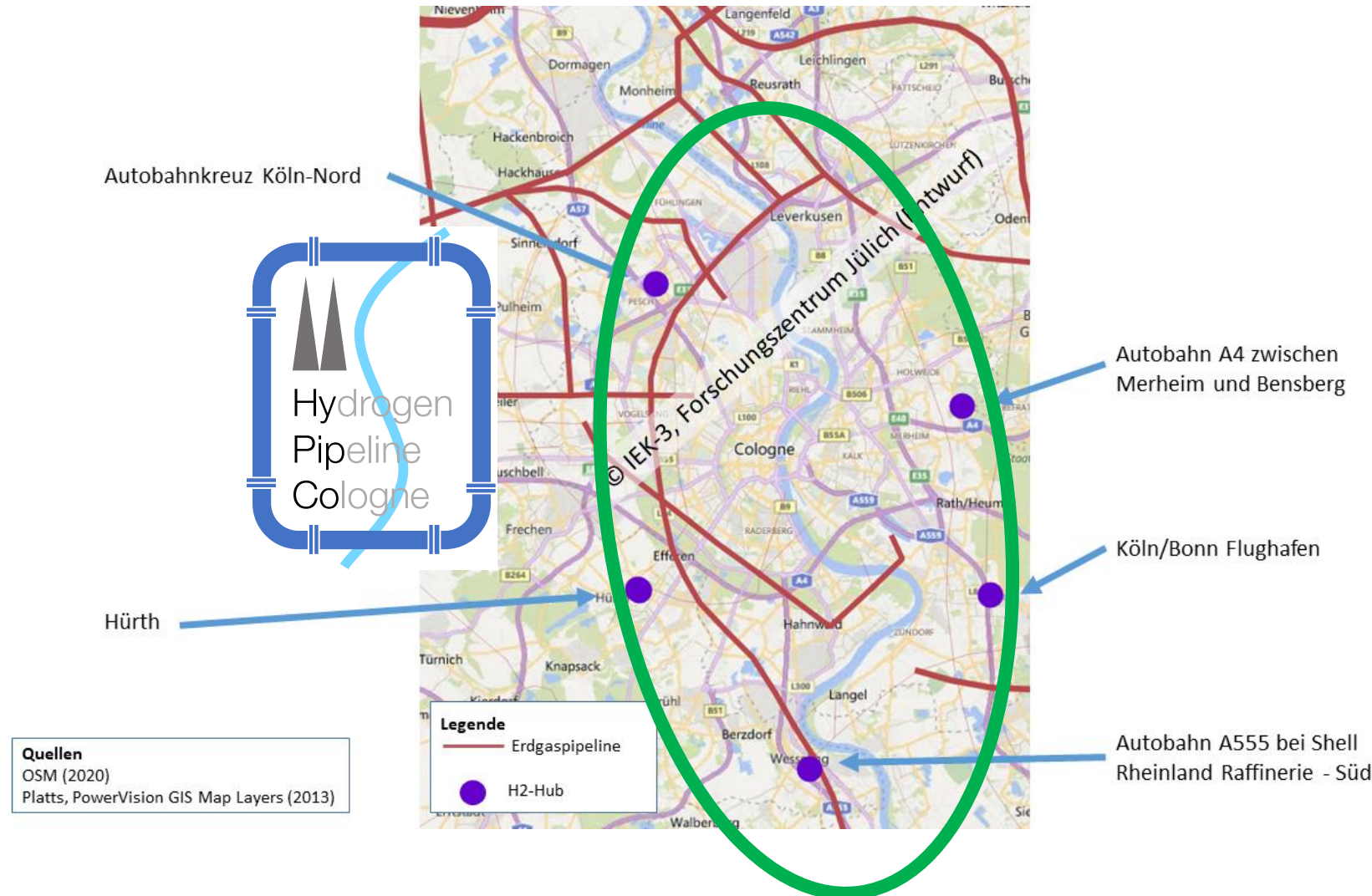
- Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verbänden: u.a. WaterstofNET, h2netzwerk Ruhr, EnergieAgentur.NRW, HySolutions Hamburg, Forschungszentrum Jülich

Vorsitzender: Bernhard Milow (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)*

Office: Hürth, Goldenbergstrasse 1, Office-Management: Eva Thelen

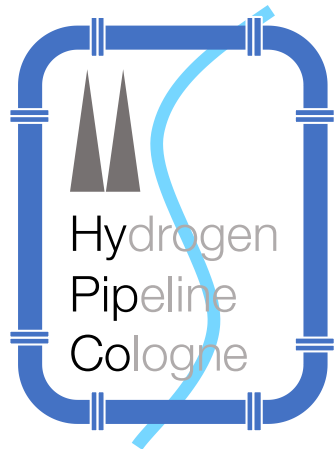
Leuchtturm Projektidee: H2-Pipelining rund um Köln

- Start der Initiative HyPipCo durch HyCologne in 2020
 - Anbindung der Chemiebetriebe
 - H2-Hubs zur Einspeisung und Entnahme von H2 zur Realisierung der H2R-Projekte
 - Nutzung der vorhandenen Pipeline-Infrastruktur soweit wie möglich
 - Prüfung der Anbindung an überregional entstehende Pipelines, z.B. GETH2 oder Green Ocotopus
- Machbarkeitsstudie in Vorbereitung (Forschungszentrum Jülich, Hochschule Bonn Rhein-Sieg in Zusammenarbeit mit Gasnetzbetreibern)



An welchen Projekten arbeiten wir aktuell?

H2-Infrastruktur und digitale Anwendung



- Idee: H2-Pipeline-Infrastruktur rund um Köln
 - Anbindung der Chemie-/Petrochemie-Standorte
 - Möglichkeit der wirtschaftlichen H2-Einspeisung und -Entnahme für zahlreiche regional geplante Wasserstoff-Projekte
 - Nach Möglichkeit Nutzung bestehender Infrastrukturen
 - Optionale Anbindung an überregionale H2-Transportnetze
- Start der Initiative Anfang 2020 durch HyCologne
- Machbarkeitsstudie in Zusammenarbeit mit FZ Jülich, Hochschule Bonn Rhein-Sieg sowie Gasnetzbetreibern in Vorbereitung

H₂Pro³



- Gemeinsames Projekt mit coac GmbH und TH Köln
- Entwicklung einer digitalen Plattform für Wasserstofftechnologie
- Austausch von Expertise, zielgerichtete Vernetzung von Marktteilnehmern (Matchmaking) sowie allgemein verständliche Aufklärung politischer Entscheider und der breiten Öffentlichkeit
- Gefördert durch das Bundesmodellvorhaben „Unternehmen Revier“ zur Strukturanpassung in Braunkohlebergbauregionen



Wasserstoff
Region
Rheinland e.V.



Ansprechpartner:

Dr. Albrecht Möllmann
Goldenbergstr. 1
50354 Hürth
Telefon: +49 2233 406123
+49 173 2560239
moellmann@hycologne.de

Vorstand:

Dr. Albrecht Möllmann (Vorsitz)
Carsten Bußjaeger
Stefan Welsch
Wolfgang Urmetzer
Marcel Härtel
Dr. Christian Rasche
Prof. Dr. Ralf Peters

www.hycologne.de