



# GRUNDLAGEN WASSERSTOFF

RVR-Online-Webinar „Grundlagen Wasserstoff“

Dr. Thomas Kattenstein

# AGENDA

---

- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord



# AGENDA

---

- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung**
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord



# WASSERSTOFF (H<sub>2</sub>) – 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

- Wasserstoffherzeugung weltweit:
  - 96 % fossil (Erdgasreformierung: Methan + Dampf → Wasserstoff + CO<sub>2</sub>)
  - 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)



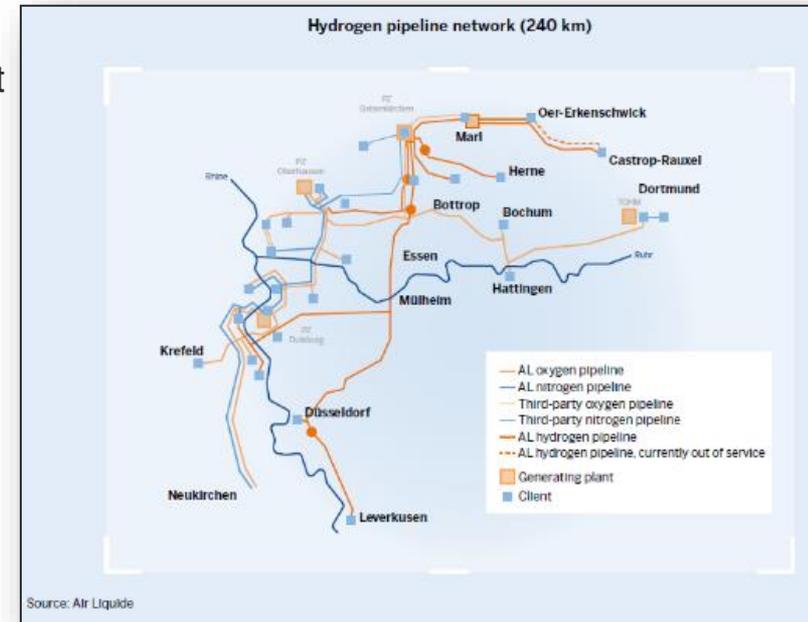
# WASSERSTOFF (H<sub>2</sub>) – EIGENSCHAFTEN UND HEUTIGE VERWENDUNG

## ⊗ Herstellung und Verwendung

- Wasserstoff wird seit Jahrzehnten in der Industrie eingesetzt
  - Chemische Produkte: Ammoniaksynthese (Düngemittel), Methanolsynthese (Kunststoffe)
  - Kraft- und Schmierstoffe: Hydrierung, Cracken; Margarineherstellung; Glasindustrie
- Neu: Auch als Energiespeicher und -transportmedium, Kraftstoff

## ⊗ Bestehende Infrastruktur

- H<sub>2</sub>-Pipeline seit 1938 im Rhein-Ruhrgebiet
  - 240 km
  - 25 bar
  - max. 40.000 m<sup>3</sup>/h (oder 3.500 kg/h)



# AGENDA

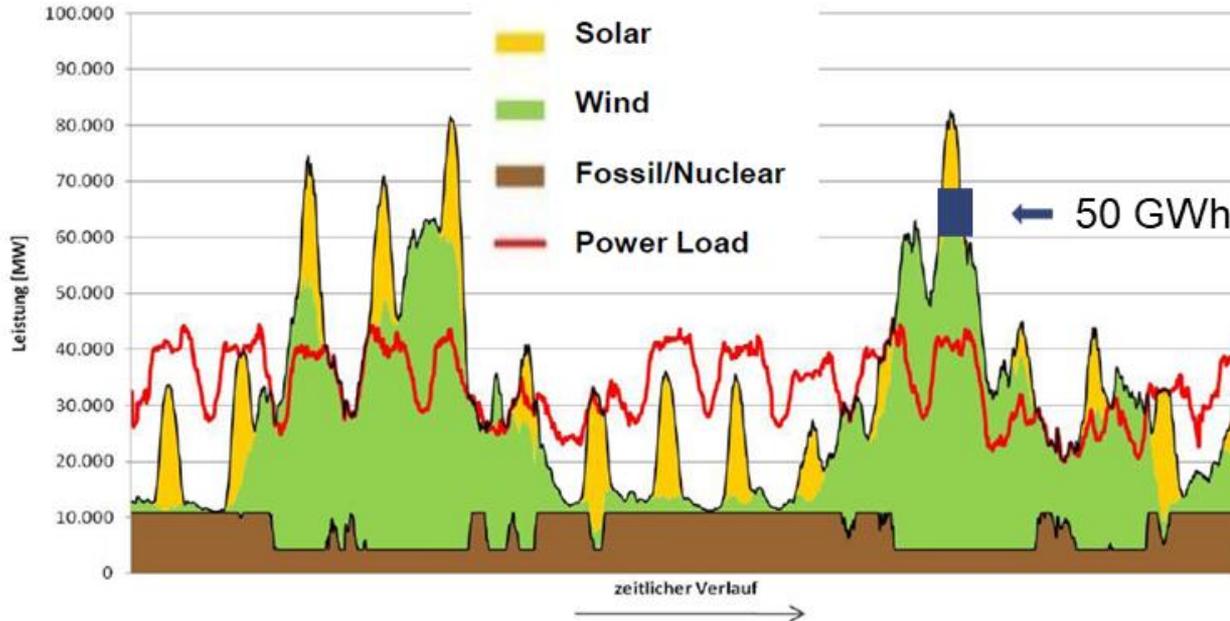
---

- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende**
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord



# HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIEWENDE

## Zeitliche Ungleichverteilung von Produktion und Nachfrage



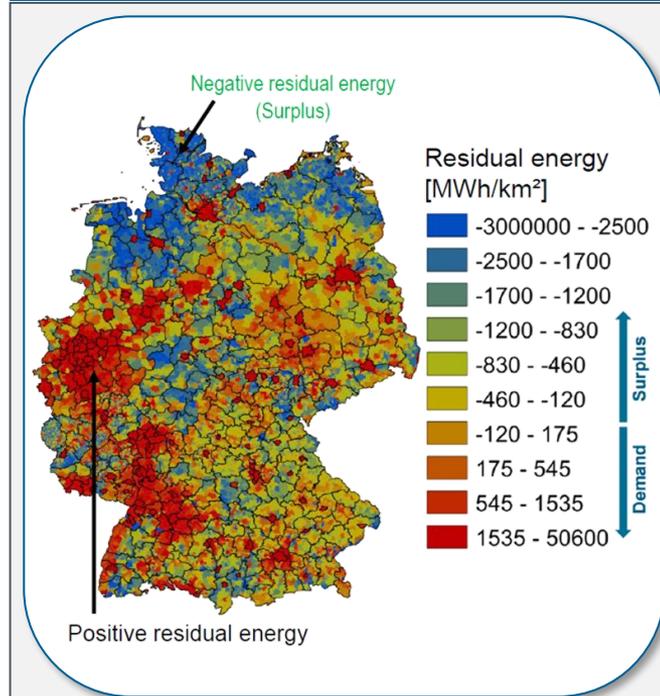
Auch große Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerke reichen nicht aus, um die Überschüsse zu speichern



» Speicherung der Energie

# HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIEWENDE

## Örtliche Ungleichverteilung von Produktion und Nachfrage

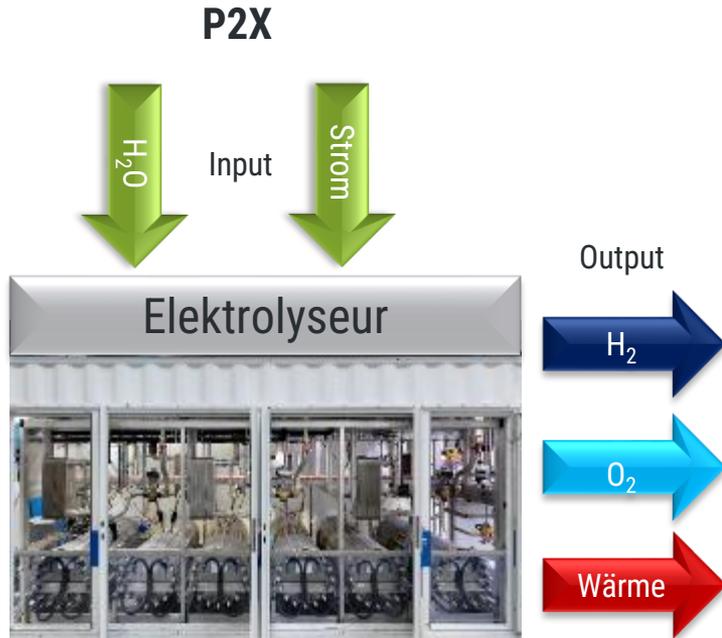


### Aussagen

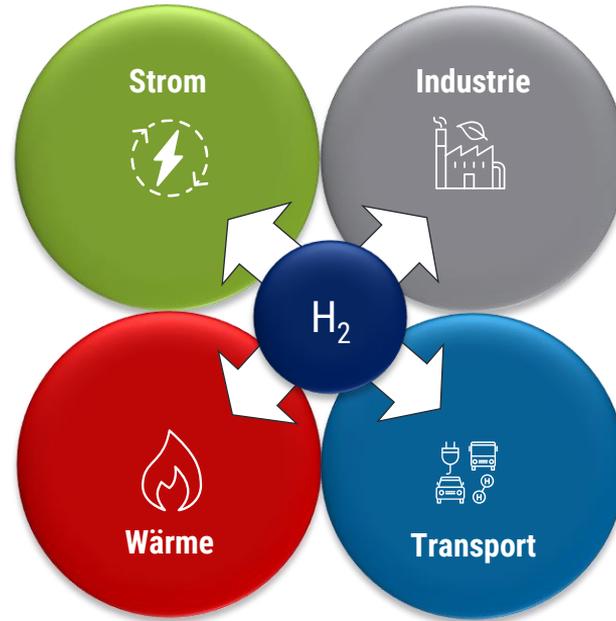
- Überschüsse vor allem durch im Norden installierte Windkraft
- Bei 80 % Stromerzeugung durch Erneuerbare kann der Überschuss bis zu 270 TWh betragen
- 90 TWh reichen aus, um H<sub>2</sub> für 20 Mio PKW (50 % der Fzg-Flotte) zu erzeugen
- Auch ein perfektes Stromnetz kann nur max. 50 der 270 TWh verteilen

» Transport der Energie

# LÖSUNG: WASSERSTOFFPRODUKTION PER ELEKTROLYSE

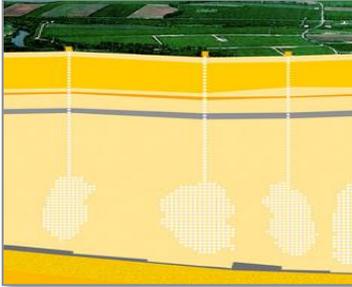


## Sektorenkopplung



Bildquelle: HyLYZER

# LÖSUNG: WASSERSTOFF ALS SPEICHER- UND TRANSPORTMEDIUM

Transport		Speicherung	
Gas	Strom	Gas-Kaverne	Batteriespeicher
			
500 Mio. € für 230 km	600 Mio. € für 260 km	<p><b>Salzkaverne</b> mit 1 Mio. m<sup>3</sup> → 240 GWh (= 6.100 t H<sub>2</sub>)</p>	<p>Äquivalent zu einer Gas-Kaverne 24 Mio. <b>Power Walls</b> (10 kWh, Tesla)</p>
<b>20 GW</b> Transportleistung	<b>1 GW (AC) / 2 GW (DC)</b> Transportleistung		
10 € / kW / 100 km	230 € / kW / 100 km für AC		

EE ENERGY ENGINEERS GmbH, OGE

# EXKURS: WASSERSTOFF ROADMAP NRW (2020)

## ➤ Wasserstoff für Klimaschutz und Wirtschaft

### ➤ Wasserstoff einsetzen

- Wasserstoff als Grundstoff der energieintensiven Industrie
- Antriebsstoff für Lkw, Busse, Schiffe, Flugzeuge und Pkw
- Versorgungssichere Strom- und Wärmeproduktion

### ➤ Technik herstellen

- Wertschöpfung durch neue Technologie: Elektrolyseure, Brennstoffzellen, Drucktanks etc.
- Technologieführerschaft ausbauen und Exportpotenzial nutzen
- Bis zu 130.000 Arbeitsplätze insbesondere in der Zulieferindustrie

### ➤ Basis: hervorragende Randbedingungen in NRW

Energieinfrastruktur, freiwerdende Gasleitungen, Nähe Windstandort Nordsee, Salzkavernenspeicher, Nachfrage Industrie und Verkehr, Hersteller und Zulieferer, engagierte Kommunen



# EXKURS: NATIONALE WASSERSTOFFSTRATEGIE

- ⊗ Entwurf zur **Fortschreibung der Nationalen Wasserstoffstrategie** (2020) mit Konkretisierung bekannter Maßnahmen in kurzfristige (2023), mittelfristige (2024-26) und langfristige (bis 2030) Maßnahmen.
- ⊗ Sicherstellung der **Verfügbarkeit** (Erzeugung und Import) sowie **Transportinfrastruktur**, flankiert durch **Genehmigungsverfahren**, Standards und Zertifizierung.
- ⊗ Priorisierung der Anwendungsbereiche in der **Industrie** (stoffliche Nutzung von Rohstoffen und Hochtemperaturwärme), Strom, **fokussierte Anwendungen im Verkehr**, sehr **begrenzt** in der **Niedertemperaturwärme**.
  - Der **blaue Wasserstoff** nimmt einen höheren Stellenwert ein und es wird auch explizit von Förderung (bis 2030) gesprochen
  - Das Elektrolyseziel zur Erzeugung von grünem Wasserstoff wird von 5 (NWS 2020) auf mindestens **10 GW** im Jahr 2030 verdoppelt
  - Die Bundesregierung plant 2023 die Veröffentlichung einer Importstrategie mit Fokus auf Transport und Infrastruktur



# AGENDA

---

- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen**
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord

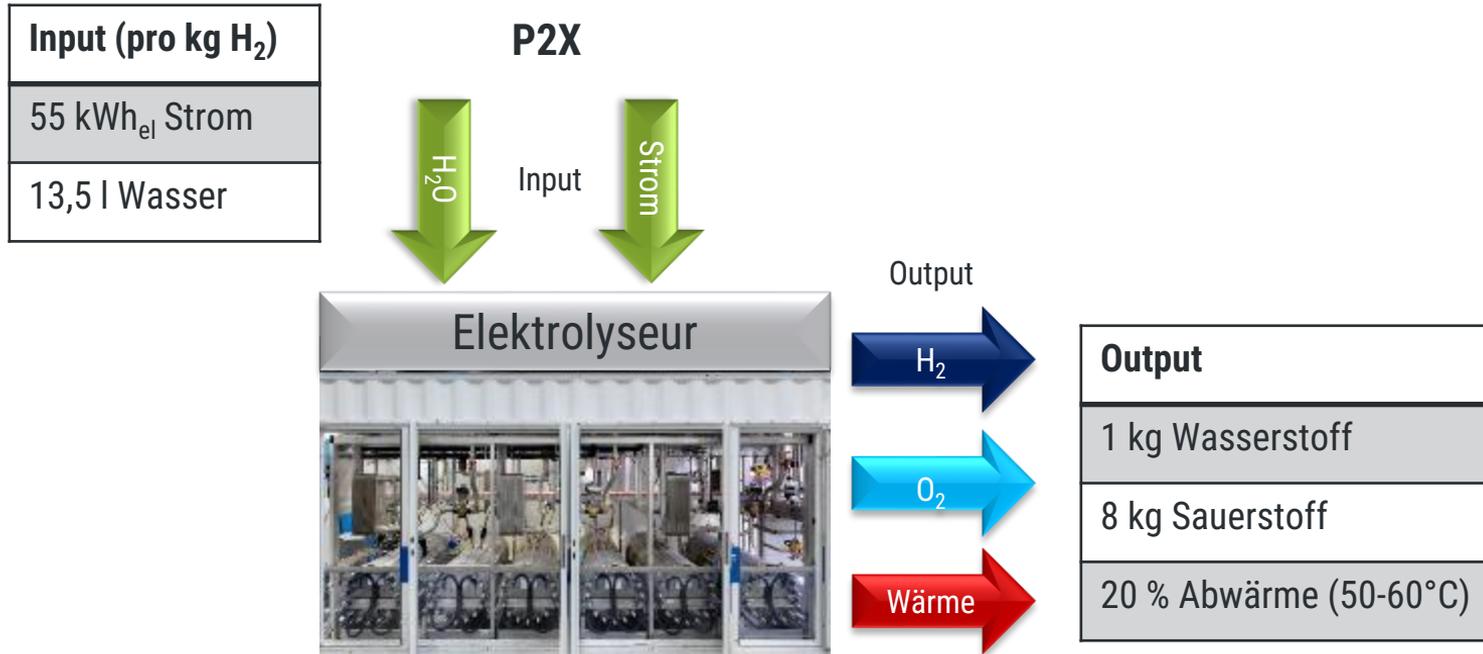


# FARBENLEHRE DES WASSERSTOFFS

Farbe	Energiequelle	H <sub>2</sub> -Erzeugungsverfahren
Schwarz	Steinkohle	Vergasung/Dampfreformierung
Braun	Braunkohle	Vergasung/Dampfreformierung
Grau	Erdgas	Dampfreformierung
Weiß	Natur/Industrie	Natür. Vorkommen/Nebenprodukt
Rot	Kernenergie	Elektrolyse
Blau	Fossile Energieträger + CCS	Dampfreform. mit CO <sub>2</sub> -Abscheidung
Türkis	Methan- /Erdgaspyrolyse	Pyrolyse
Grün	Biogas	Dampfreformierung
Grün	Erneuerbare Energien	Elektrolyse

Quelle: WEC Europe Hydrogen Import Study, Oktober 2021

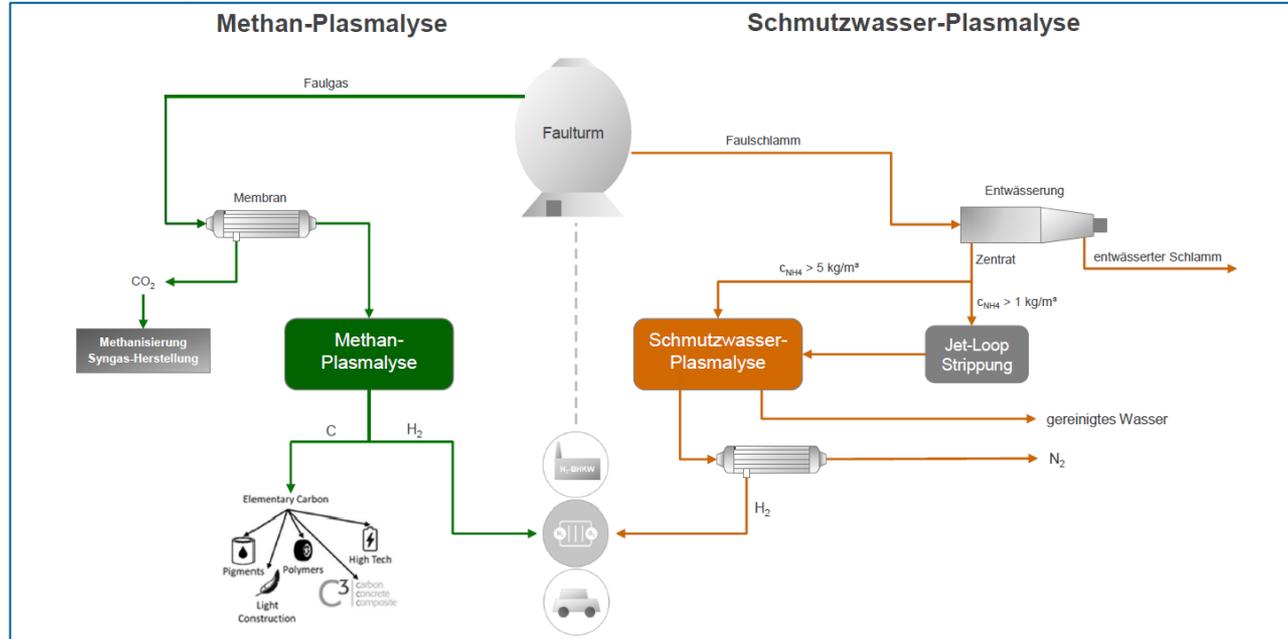
# H<sub>2</sub>-PRODUKTION PER ELEKTROLYSE



Bildquelle: HyLYZER

# H<sub>2</sub>-PRODUKTION PER PLASMALYSE

Türkiser H<sub>2</sub>: Cracken von Kohlenwasserstoffen und Stickstoffverbindungen im Lichtbogen



- » Feed: Erdgas, Biomethan
- » Leistung: 115 – 6.500 kW
- » Reinheit: 98 – 99,99 Vol.-%
- » Ausgangsdruck: 2 – 10 bar
- » Betriebsmittel pro kg H<sub>2</sub>:
  - » 14,3 kWh<sub>el</sub>
  - » 4,2 kg CH<sub>4</sub>
- » Produktformen:
  - » Komprimiertes Pulver
  - » Granulat
  - » Pellets

Dieses Verfahren benötigt **ca. 27 % des Stroms** der Wasserelektrolyse.  
Zu beachten bleibt jedoch der zusätzliche Methanbedarf.

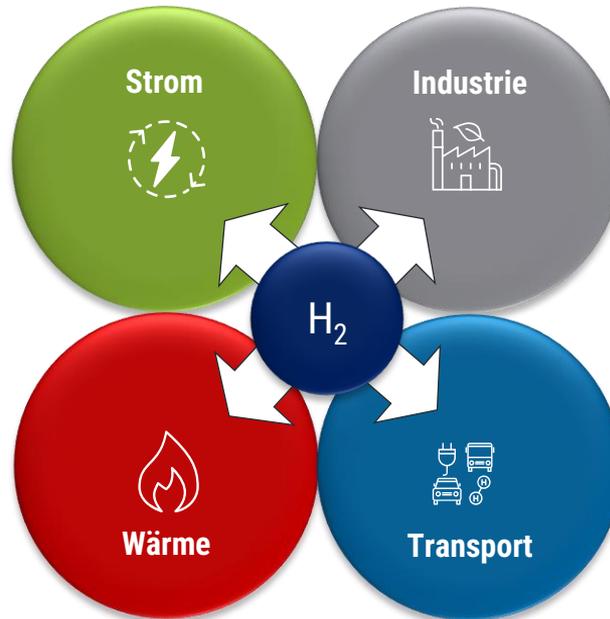


# H2-ANWENDUNGEN

- H2, wenn einzige Möglichkeit zur Dekarbonisierung
- H2, wenn bessere Performance, günstigere Infrastruktur, Verfügbarkeit von Wasserstoff

- Brennstoffzellen
- Gasturbinen
- Motor-BHKW

- Heizthermen
- Heizkessel
- Motor-BHKW
- Brennstoffzellen
- Gasturbinen



- Stahlerzeugung
- Chemie
- Raffinerien
- Stahl-/Metallverarbeitung
- Glas/Keramik
- Ziegel/Zement

- Busse
- Lkw
- Müllfahrzeuge
- Züge
- Intalogistik
- Pkw
- Schiffe
- Flugzeuge

# AGENDA

---

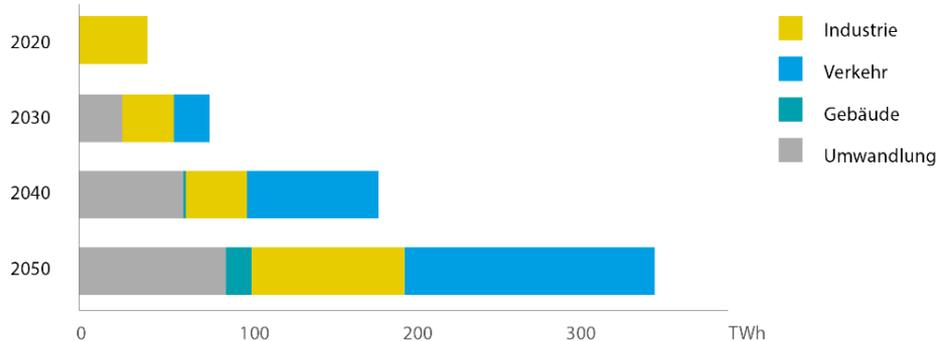
- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen**
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord



# ZUKÜNFTIGE WASSERSTOFFBEDARFE UND -IMPORTE

## Bedarf in Verkehr und Industrie

Wasserstoffbedarf nach Sektoren in 2050 in Deutschland in TWh/a



Wasserstoffbedarf in Deutschland 2050:

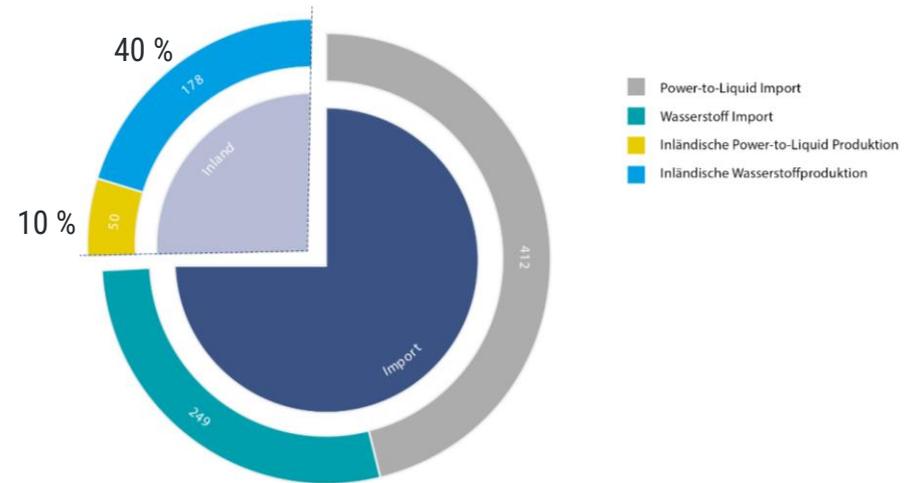
427 TWh/a oder 12,9 Mio. t/a

Im Vergleich heute:

55 TWh/a oder 1,7 Mio. t/a

## Notwendigkeit von Importen

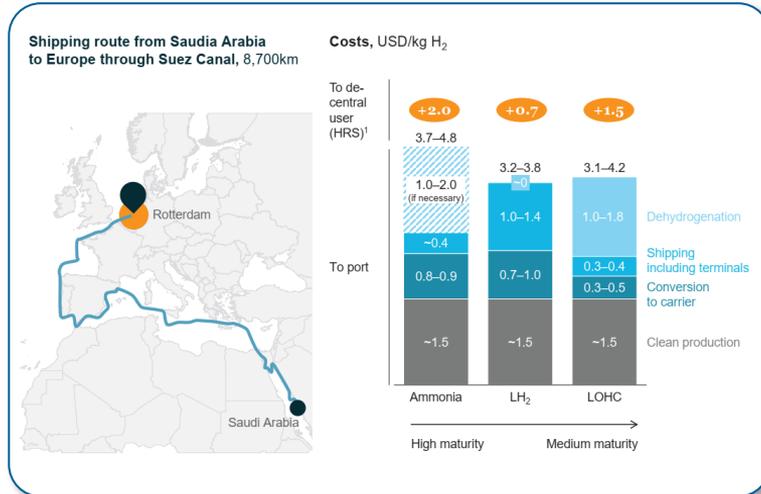
Wasserstoff- und Power-to-Liquid-Versorgung in 2050 in Deutschland in TWh/a



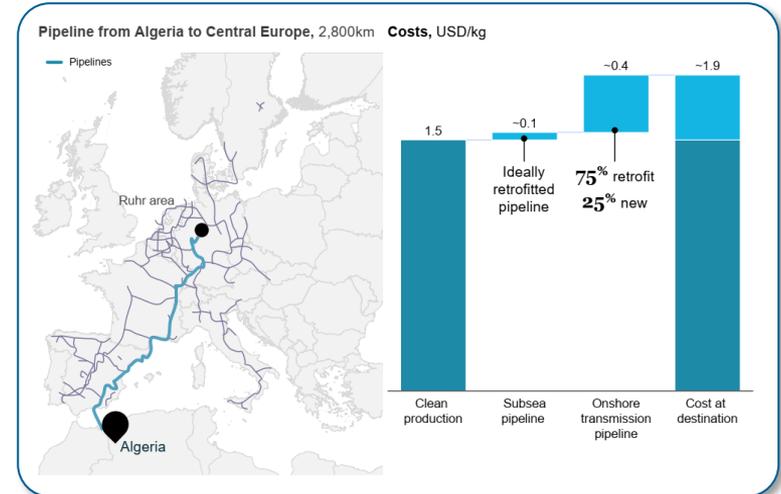
Quelle: Begleitstudie Wasserstoff Roadmap NRW, 2020, Forschungszentrum Jülich 2021

# WIE VIEL KOSTET ER DANN?

## Costs for at scale production and shipping transportation in 2030



## Costs for at scale production and pipeline transportation in 2030



Heutiger H<sub>2</sub>-Preis in DE:

- 1,5 €/kg bei Dampfreformierung
- 6 – 12 €/kg bei Wasser-Elektrolyse

Hydrogen Council, Hydrogen Insights 2021



# WARUM NOCH DEZENTRALE ERZEUGUNG

## ⊗ Aufbau integrierter Systeme

- Wasserstoff, Wärme, Sauerstoff
- Nutzung heimischer Wind/PV, Abfälle

## ⊗ Heimische Wertschöpfung

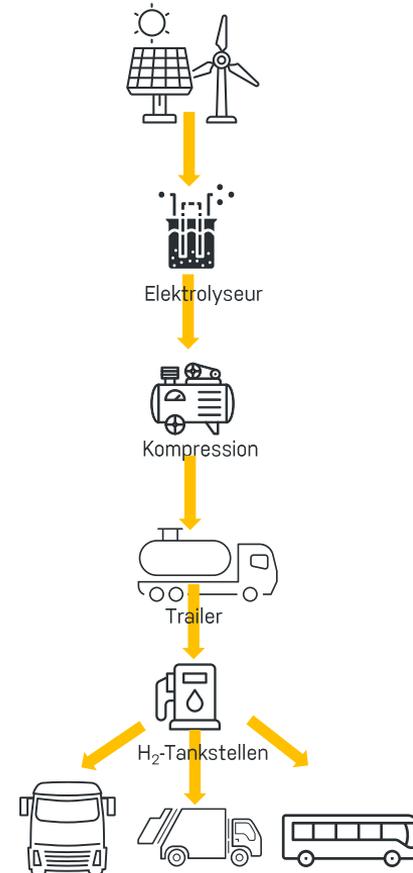
- Bildung regionaler Cluster, Einbindung lokaler Unternehmen

## ⊗ Unabhängigkeit von bzw. Flexibilität hinsichtlich Planungen der Ferngas-Infrastrukturbereiter

- Zeitliche und örtliche Unabhängigkeit vom Hydrogen Backbone

## ⊗ Erzeugung von **hochreinem Wasserstoff**

- Für Brennstoffzellenanwendungen erforderlich



# FAZIT

---

- ⊗ Wasserstoff lässt sich über verschiedene Pfade herstellen, **Wind-Wasserstoff besonders relevant**
- ⊗ Wasserstoff ist großskalig und über lange Zeiträume speicherbar
- ⊗ Wasserstoff kann über weite Strecken transportiert werden
- ⊗ Wasserstoff kann in allen Sektoren eingesetzt werden
- ⊗ Deutschland kann H<sub>2</sub>-Bedarf alleine nicht decken und muss große Mengen importieren, jedoch sind **heimische Produktion/heimische Ansätze für Wertschöpfung Teil der Lösung!**

**Grüner Wasserstoff ist Teil der Energiewende**  
**... Basis ist Ausbau der Erneuerbaren**



# AGENDA

---

- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord**



# DIE EE STELLT SICH VOR



## Unternehmen

### Team:

60 Mitarbeitende aus Engineering,  
Economics & Business Administration

### Gründung:

1996

Teil der  
**TÜV Nord** Group



**Standort:**  
Gelsenkirchen



## Schwerpunkte

Expert Advice  
Industry &  
Commerce



Energy  
Infrastructures

Renewable  
Energies



Energy  
Economics

Mobility



Hydrogen

Circular  
Economy



Buildings

# REFERENZ BMR: KOMMUNALPROFILE

Analyse des Wasserstoffsektors für die Metropole Ruhr in Form von 15 Kommunalprofilen

- Erfassung der bisherigen Wasserstoffaktivitäten entlang der gesamten Wertschöpfungskette
- Ermittlung von Synergiepotenzialen und Ableitung von Handlungsempfehlungen
- In allen Kommunen der Metropole Ruhr bereits Wasserstoffaktivitäten vorhanden
- Zukünftig zunehmend industrielle Wasserstoffanwendungen (z. B. Metallverarbeitung, Glas- und Aluminiumindustrie) und im Verkehr
- **Koordinierende Funktion von RVR/BMR wird von den Kommunen als wichtige Unterstützung erachtet**



**PROJEKTE & AKTEURE** entlang der H<sub>2</sub>-Wertschöpfungskette



TOH HOLD GROUP

---



**Projekte:** ✓ H<sub>2</sub>-Branchenrecherche, ✓ HyExpertsBewerbung  
**Akteure:** Dezernat 1 Amt für Angelegenheiten des Oberbürgermeisters, Wirtschaftsförderung, CleanPort Dortmund (Technologiezentrum Dortmund)

---



**Projekte:** ♀ Türkise H<sub>2</sub>-Herstellung mittels Pyrolyse (Dortmunder Hafen)  
**Akteure:** Dortmunder Hafen, Dortmunder Energie- und Wasserversorgung DEW 21, OGE, Thyssengas, WEW Hydrogen (Ausgründung von thyssenkrupp), thyssenkrupp Uhde Chlorine Engineers

---



**Projekte:** noch keine konkreten Projekte vorhanden  
**Akteure:** Westnetz, Amprion, Thyssengas, WLO (Pumpenhersteller), Do-Netz (Netzbetreiber)

---



**Projekte:** noch keine konkreten Projekte vorhanden  
**Akteure:** noch keine konkreten Akteure vorhanden

---



**Projekte:** ✓ öffentliche H<sub>2</sub>-Tankstelle seit 2020 (H<sub>2</sub> Mobility), ♀ Brennstoffzellen-Busse, ✓ Potenzialanalysen für Vorfeldfahrzeuge (Dortmunder Flughafen)  
**Akteure:** Dortmunder Stadtwerke DSW21, Dortmunder Flughafen

---



**Projekte:** ♀ Fernwärmenetz (Versorgung durch Gaskraftwerk, perspektivisch durch eine Brennstoffzelle)  
**Akteure:** DEW21 (Wärmenetzbetreiber)

---



**Projekte:** ✓ Brennstoffzellen-Prototyp-Fahrzeug (Hochschule Dortmund)  
**Akteure:** Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Fraunhofer Institut für Software- und Systemtechnik (ISST), Fraunhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (WST), TU Dortmund-Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft (Wasserstoffkonzepte und Systemfragestellungen), Hochschule Dortmund

---



**Projekte:** Studiengänge mit Wasserstoff-Schwerpunkt  
**Akteure:** Hochschule Dortmund, TU Dortmund

# REFERENZ: LAND NRW UND BUND

Netzwerke für Kommunen im Bereich Wasserstoff



- **Expertengruppe H2-Kommunen in NRW**  
im Auftrag des NRW-  
Wirtschaftsministeriums



- **HyLand-Netzwerk** der Wasserstoff-  
regionen im Auftrag der NOW GmbH bzw.  
des Bundesverkehrsministeriums

Zukunft. Nachhaltig. Gestalten.



**Dr. Thomas Kattenstein**

Managing Consultant

Tel.: +49 173 251 273 9

kattenstein@energy-engineers.de



TÜV NORD GROUP

Wissenschaftspark, Munscheidstraße 14, 45886 Gelsenkirchen

Sitz der Gesellschaft: Gelsenkirchen

Registergericht: Amtsgericht Gelsenkirchen, HRB 8017

Geschäftsführung: Dr. Jörg Aign, Dr. Frank-Michael Baumann, Dr. Andreas Ziolk