



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 (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

- Wasserstoffherzeugung weltweit:
 - 96 % fossil (Erdgasreformierung: Methan + Dampf → Wasserstoff + 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)



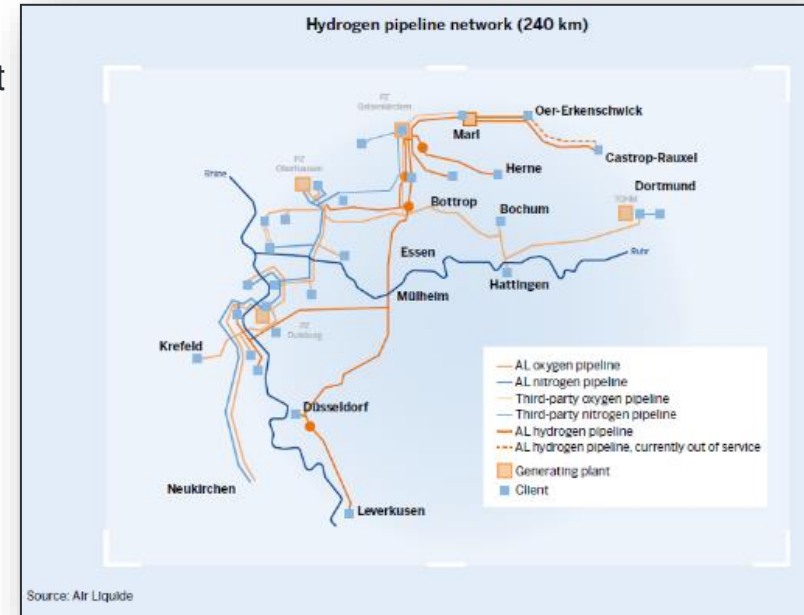
WASSERSTOFF (H₂) – EIGENSCHAFTEN UND HEUTIGE VERWENDUNG

➤ 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

- H₂-Pipeline seit 1938 im Rhein-Ruhrgebiet
 - 240 km
 - 25 bar
 - max. 40.000 m³/h (oder 3.500 kg/h)



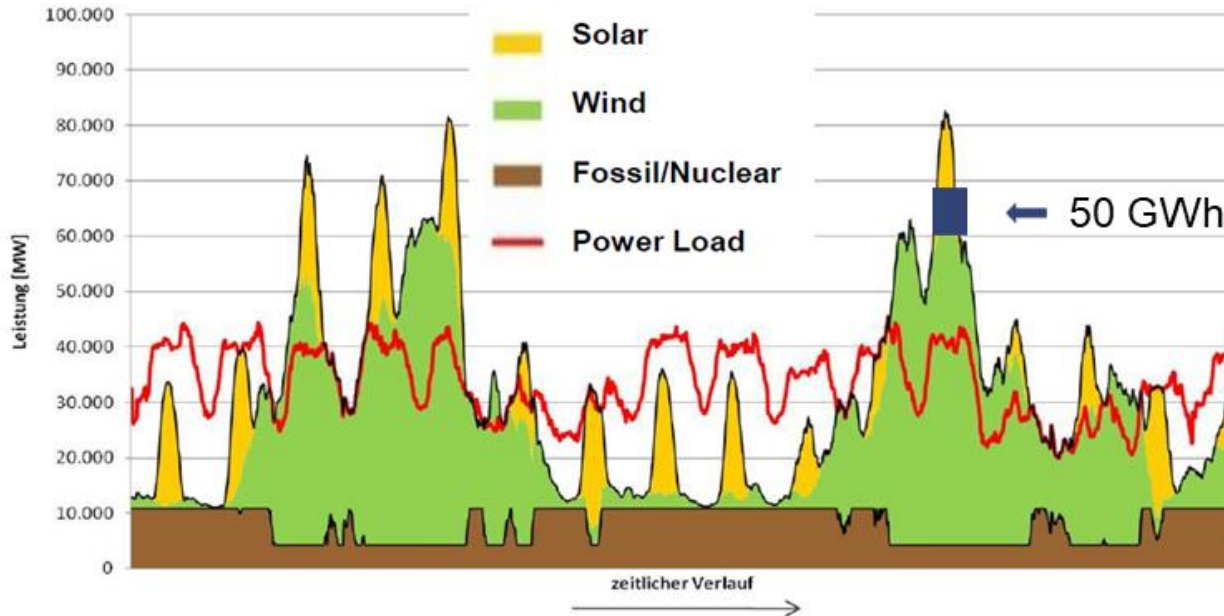
AGENDA

- 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



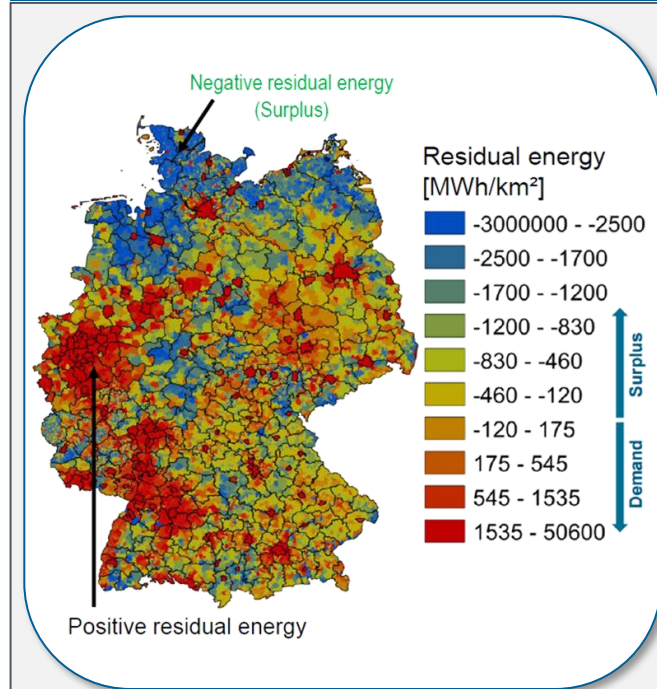
Auch große Energiespeicher wie Pumpspeicherkraftwerke reichen nicht aus, um die Überschüsse zu speichern



Speicherung der Energie

HERAUSFORDERUNGEN DER ENERGIEWENDE

Örtliche Ungleichverteilung von Produktion und Nachfrage

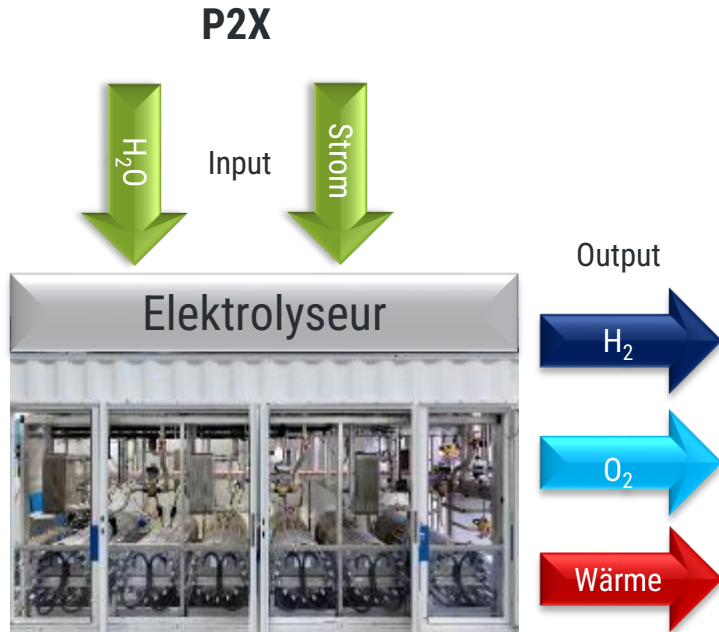


Aussagen

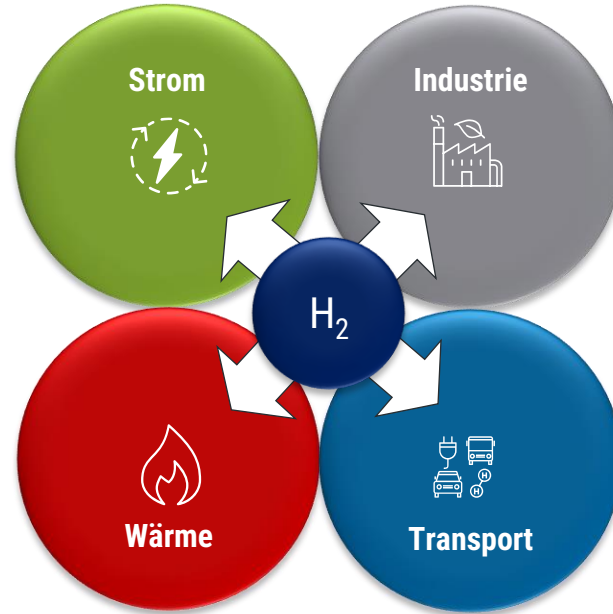
- Überschüsse vor allem durch im Norden installierte Windkraft
- Bei 80 % Stromerzeugung durch Erneuerbare kann der Überschuss bis zu 270 TWh betragen
- 90 TWh reichen aus, um H₂ für 20 Mio PKW (50 % der Fzg-Flotte) zu erzeugen
- Auch ein perfektes Stromnetz kann nur max. 50 der 270 TWh verteilen

» 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	Salzkaverne mit 1 Mio. m ³ → 240 GWh (= 6.100 t H ₂)	Äquivalent zu einer Gas-Kaverne 24 Mio. Power Walls (10 kWh, Tesla)
20 GW Transportleistung	1 GW (AC) / 2 GW (DC) 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

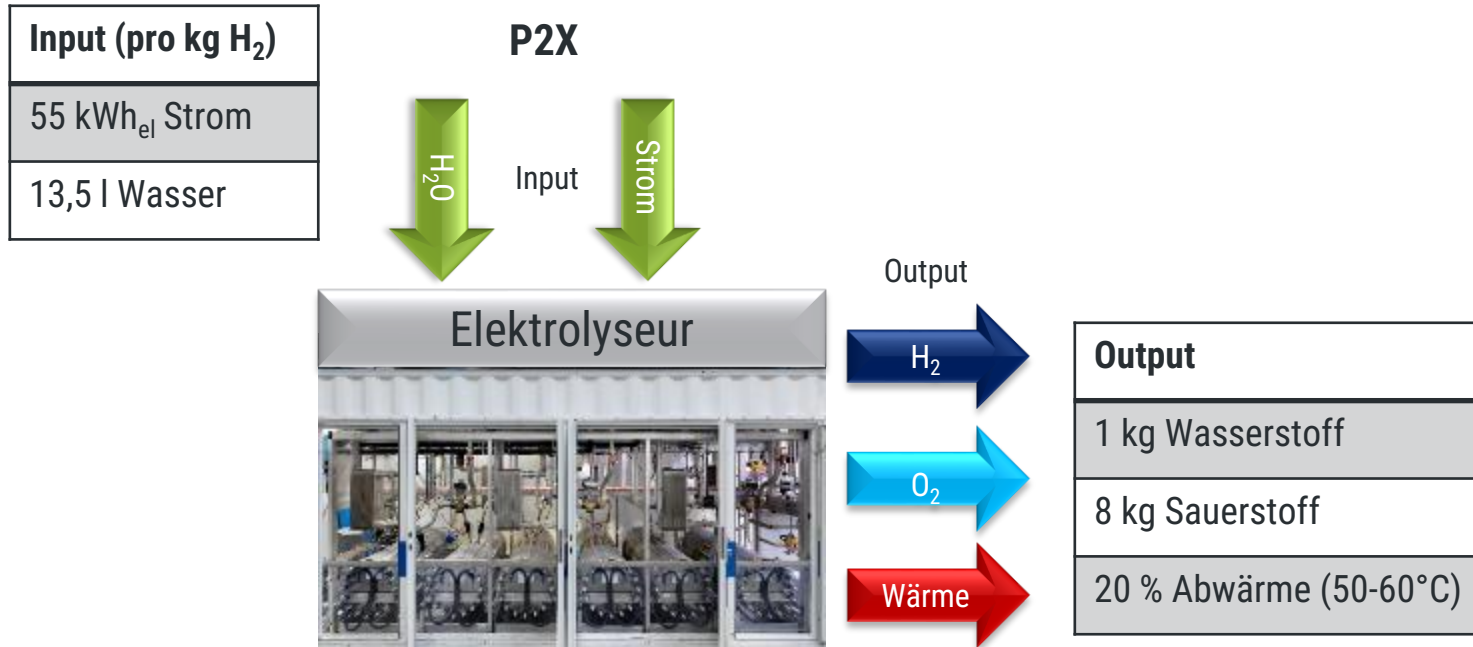


FARBENLEHRE DES WASSERSTOFFS

Farbe	Energiequelle	H ₂ -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 ₂ -Abscheidung
Türkis	Methan- /Erdgaspyrolyse	Pyrolyse
Grün	Biogas	Dampfreformierung
Grün	Erneuerbare Energien	Elektrolyse

Quelle: WEC Europe Hydrogen Import Study, Oktober 2021

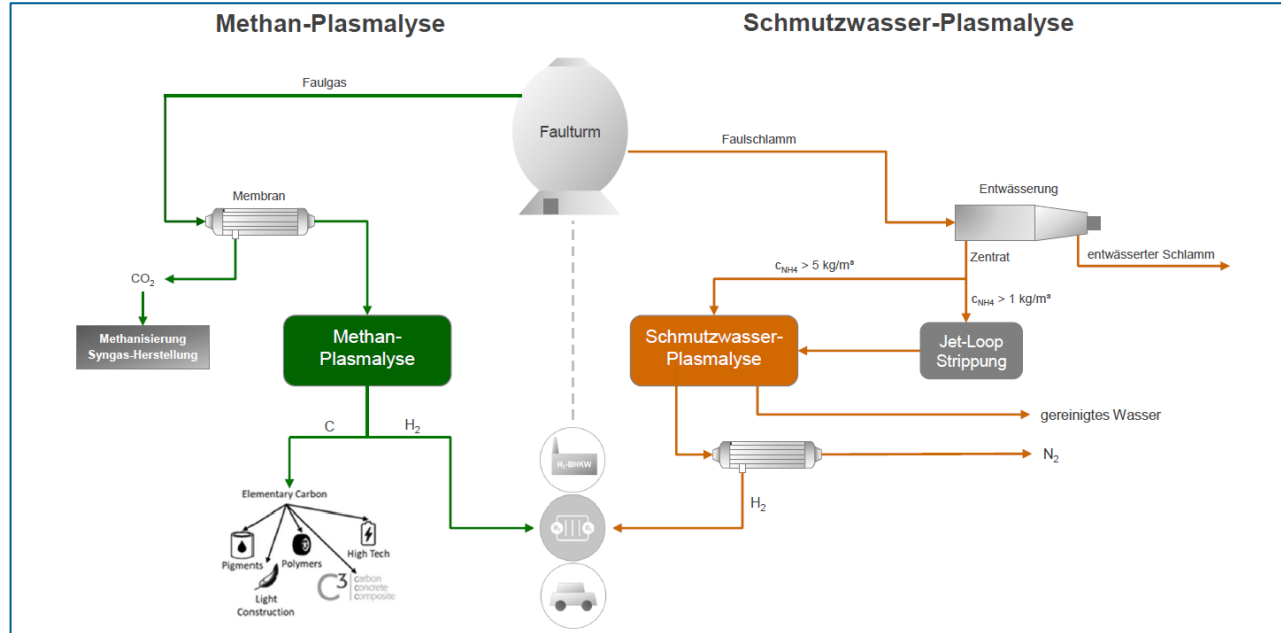
H2-PRODUKTION PER ELEKTROLYSE



Bildquelle: HyLYZER

H₂-PRODUKTION PER PLASMALYSE

Türkiser H₂: 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 H₂:
 - » 14,3 kWh_{el}
 - » 4,2 kg CH₄
- » Produktformen:
 - » Komprimiertes Pulver
 - » Granulat
 - » Pellets

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

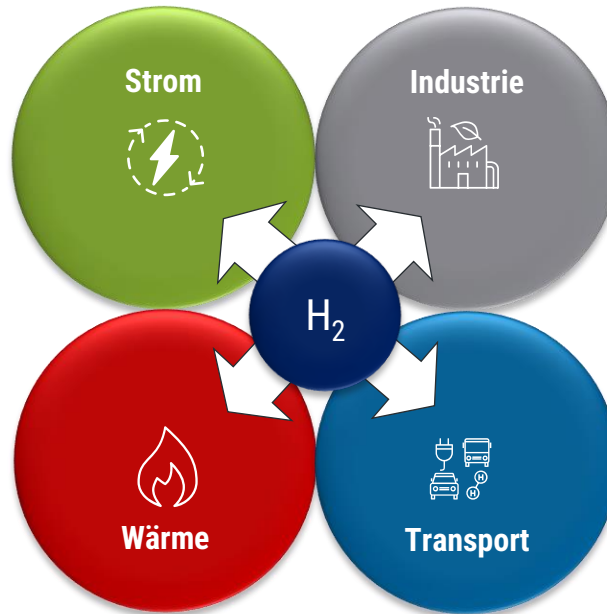


H2-ANWENDUNGEN

- 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

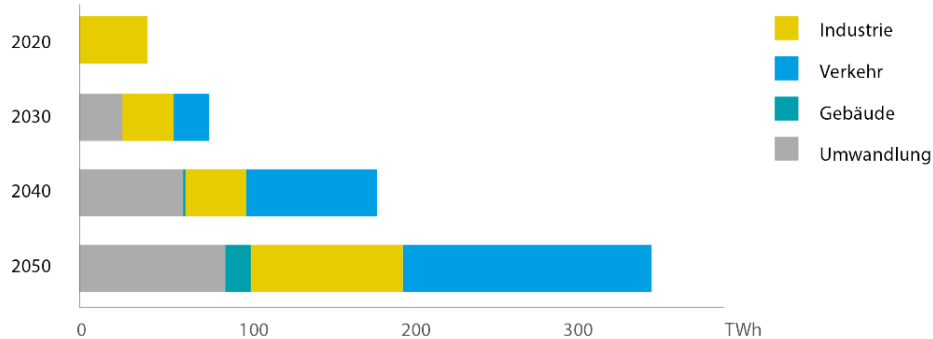
- 1 Wasserstoff: Eigenschaften und bisherige Verwendung
- 2 Wasserstoff: Rolle in der Energiewende
- 3 Wasserstoff: Produktionsverfahren und Anwendungen
- 4 Wasserstoff: Mengenbilanzen**
- 5 EE ENERGY ENGINEERS GmbH / HydroHub / TÜV Nord



ZUKÜNFTIGE WASSERSTOFFBEDARFE UND -IMPORTE

Bedarf in Verkehr und Industrie

Wasserstoffbedarf nach Sektoren in 2050 in Deutschland in TWh/a



Wasserstoffbedarf in Deutschland 2050:

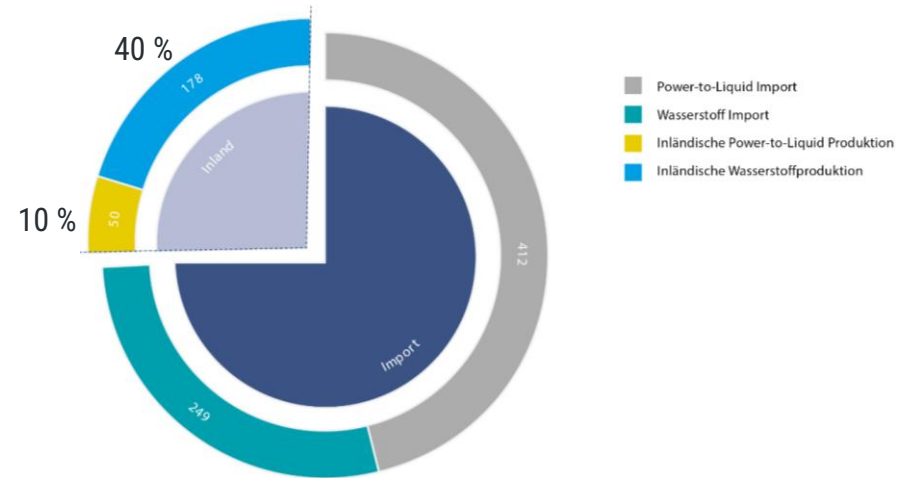
427 TWh/a oder 12,9 Mio. t/a

Im Vergleich heute:

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

Notwendigkeit von Importen

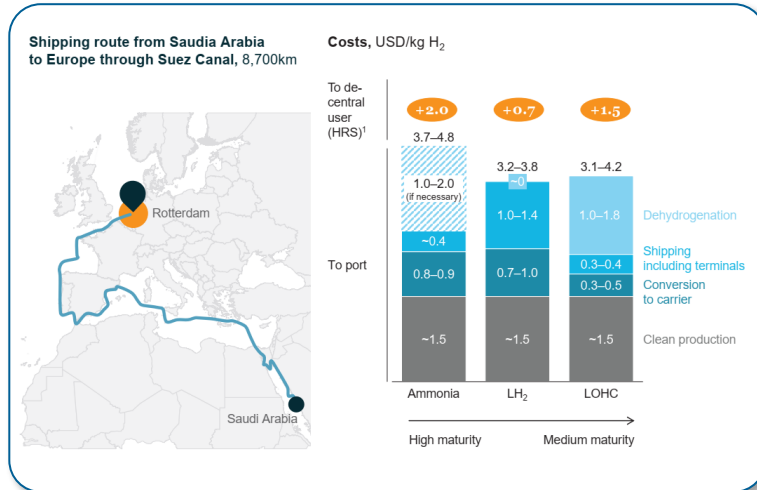
Wasserstoff- und Power-to-Liquid-Versorgung in 2050 in Deutschland in TWh/a



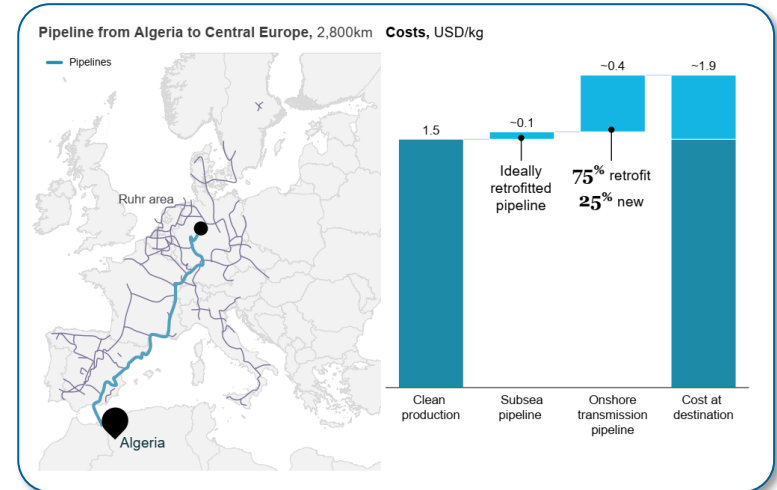
Quelle: Begleitstudie Wasserstoff Roadmap NRW, 2020, Forschungszentrum Jülich 2021

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 H₂-Preis in DE:

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



WARUM NOCH DEZENTRALE ERZEUGUNG

⊗ Aufbau integrierter Systeme

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

⊗ Heimische Wertschöpfung

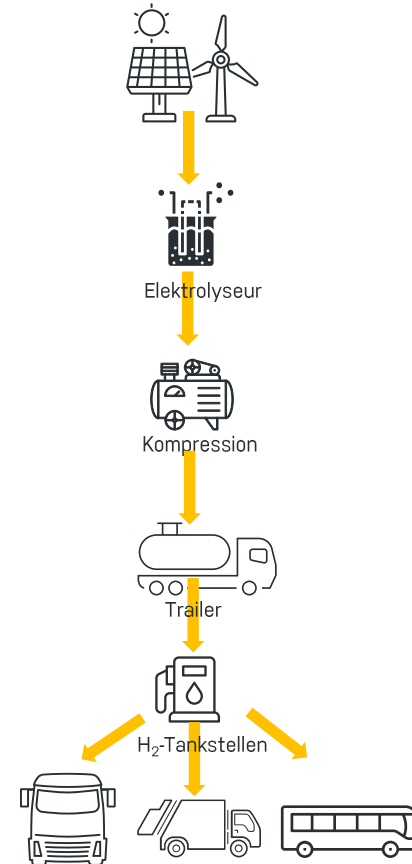
- Bildung regionaler Cluster, Einbindung lokaler Unternehmen

⊗ 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 H₂-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 ₂ -Wertschöpfungskette	
	<p>Projekte: ✓ H₂-Branchenrecherche, ✓ HyExpertsBewerbung</p> <p>Akteure: Dezernat 1 Amt für Angelegenheiten des Oberbürgermeisters, Wirtschaftsförderung, CleanPort Dortmund (Technologiezentrum Dortmund)</p>
	<p>Projekte: ♀ Türkise H₂-Herstellung mittels Pyrolyse (Dortmunder Hafen)</p> <p>Akteure: Dortmunder Hafen, Dortmunder Energie- und Wasserversorgung DEW 21, OGE, Thyssengas, WEW Hydrogen (Ausgründung von thyssenkrupp), thyssenkrupp Uhde Chlorine Engineers</p>
	<p>Projekte: noch keine konkreten Projekte vorhanden</p> <p>Akteure: Westnetz, Amprion, Thyssengas, WLO (Pumpenhersteller), Do-Netz (Netzbetreiber)</p>
	<p>Projekte: noch keine konkreten Projekte vorhanden</p> <p>Akteure: noch keine konkreten Akteure vorhanden</p>
	<p>Projekte: ✓ öffentliche H₂-Tankstelle seit 2020 (H₂ Mobility), ♀ Brennstoffzellen-Busse, ✓ Potenzialanalysen für Vorfeldfahrzeuge (Dortmunder Flughafen)</p> <p>Akteure: Dortmunder Stadtwerke DSW21, Dortmunder Flughafen</p>
	<p>Projekte: ♀ Fernwärmenetz (Versorgung durch Gaskraftwerk, perspektivisch durch eine Brennstoffzelle)</p> <p>Akteure: DEW21 (Wärmenetzbetreiber)</p>
	<p>Projekte: ✓ Brennstoffzellen-Prototyp-Fahrzeug (Hochschule Dortmund)</p> <p>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</p>
	<p>Projekte: Studiengänge mit Wasserstoff-Schwerpunkt</p> <p>Akteure: Hochschule Dortmund, TU Dortmund</p>

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