

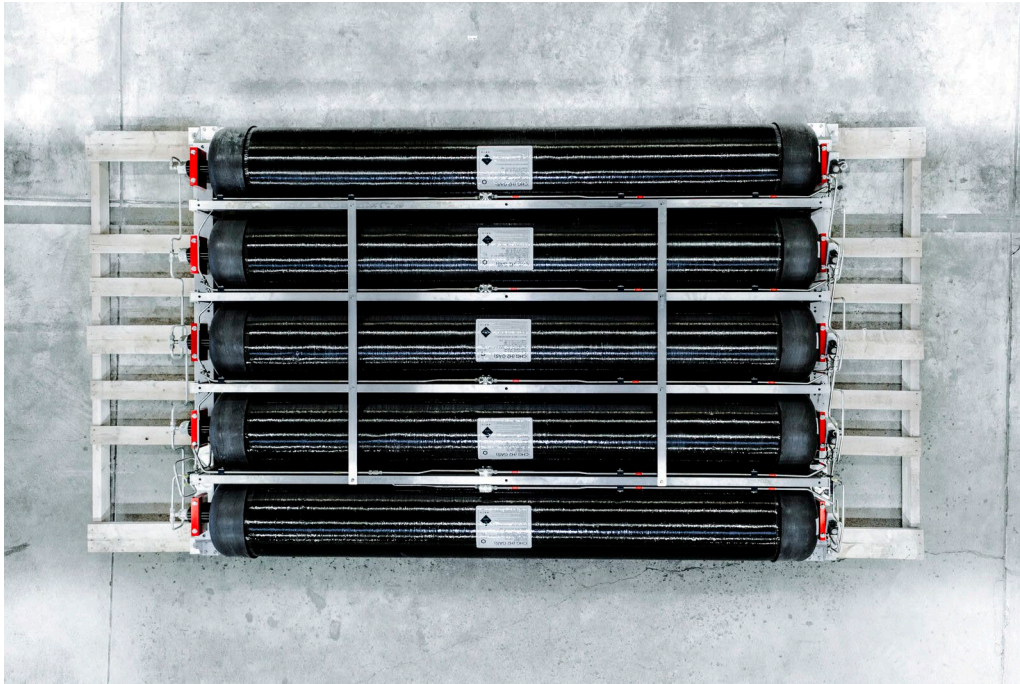
Technische und wirtschaftliche Aspekte des Transports: Pipelines versus Trailer

Birgit Scheppat

2.Fachforum Hyland 14.Juni 2022

TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE DES TRANSPORTS: PIPELINES VERSUS TRAILER

- Stand der Technik Wasserstoffspeicherung
- Wasserstoffspeichermethoden und Transport von Wasserstoff
- Offene Fragen und Diskussion



Hexagon Purus | Hydrogen fuel storage systems

Stand Juni 2022



H₂-Anlieferung im Trailer



Hochschule **RheinMain**
IMPACT RheinMain

1. Druckwasserstoffanlieferung

- Stahlröhrentrailer 20 MPa [0,28 t]
- Stahlflaschenbündeltrailer 20 MPa [0,45 t]
- Verbundflaschentrailer 30...50 MPa [0,95 t – 1,3 t]
- Verbundflaschentrailer 70 MPa [1,2 t]

2. Flüssigwasserstofftrailer [3,5 t]

- 3. Liquid organic hydrogen Carrier [1,8 t]

CGH₂



Stahlröhrentrailer



Stahlflaschenbündeltrailer



Verbundflaschentrailer



Flüssigwasserstofftrailer

Linde hydrogen liquefaction

A core competence and global leadership

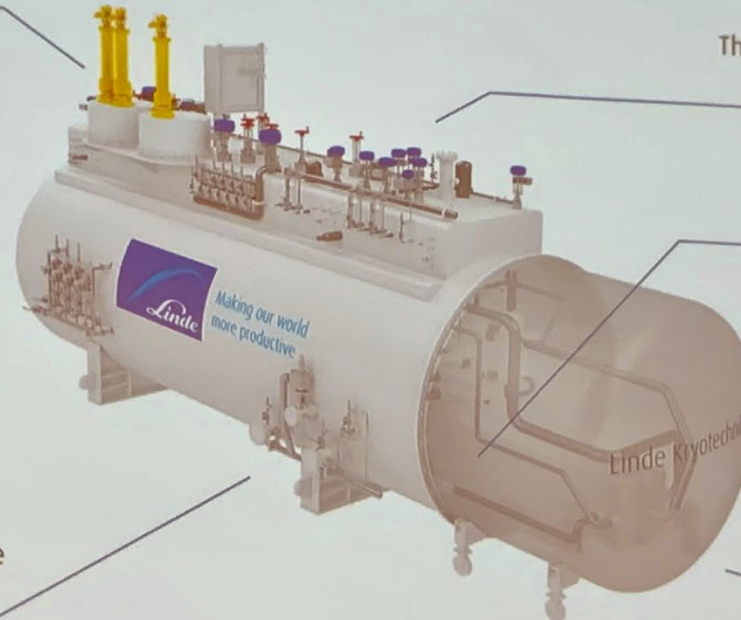


Innovative technology of unique dynamic gas bearing turbine

Lowest total cost of ownership concepts for different ranges

Small <3 tpd (He cycle)
Medium ~5 tpd (H₂ cycle)
Large >15 tpd (H₂ cycle)
X-Large >30 tpd (H₂ cycle)

Complete inhouse cold box assembly to ensure high quality and full control of delivery time



Proven track record:
The majority of the world's installed hydrogen liquefaction plants have been built by Linde

Inhouse produced PFHX for highest quality and long lifetime

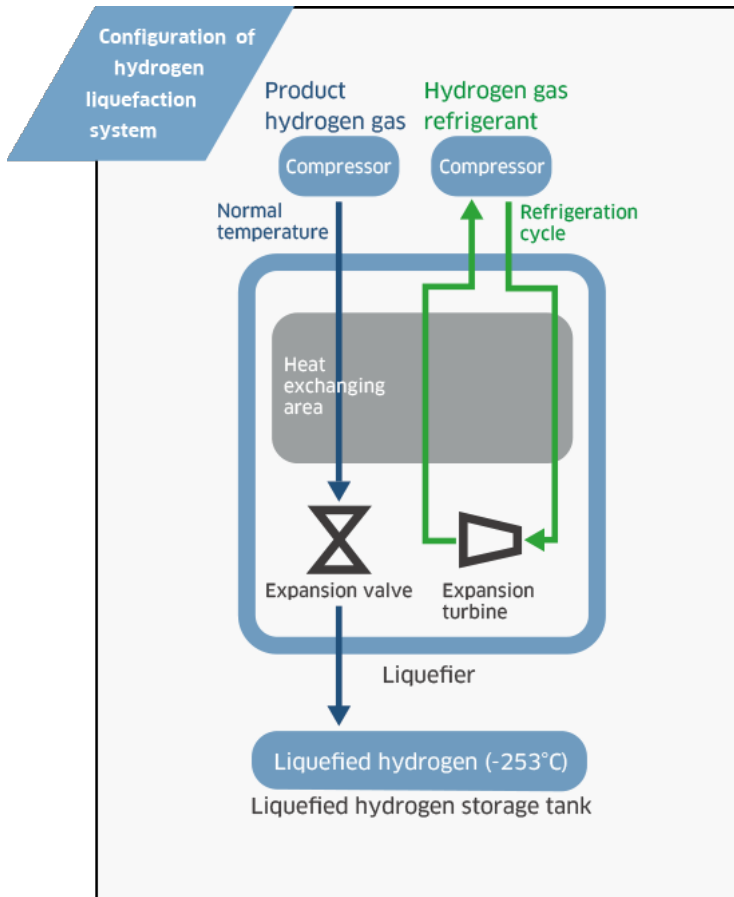
Full EPC capability
LH2 solution provider

Ready for the future
Concepts with record efficiencies for plants up to 500 tpd available

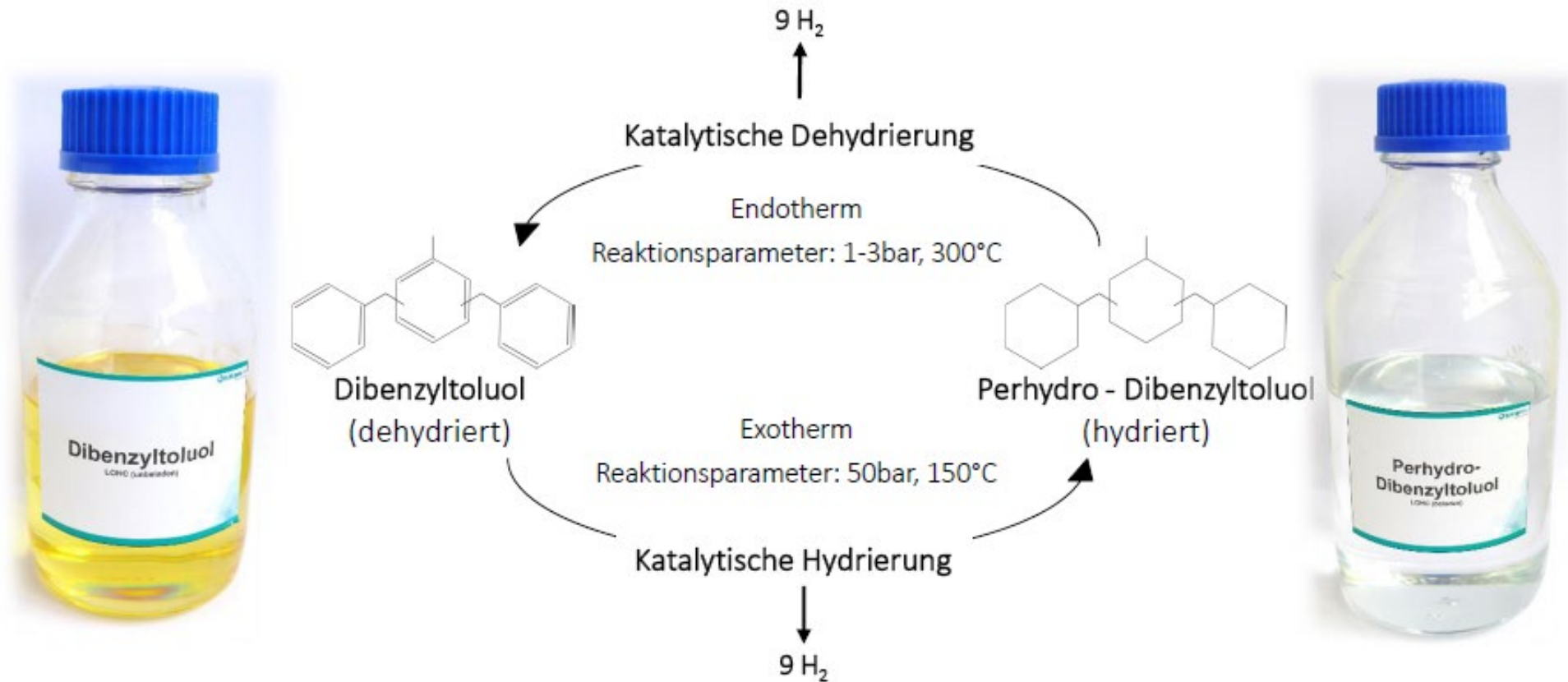


Herstellung und Transport von Flüssigwasserstoff am Beispiel Kawasaki

Transport Wasserstoff bei -253°C .

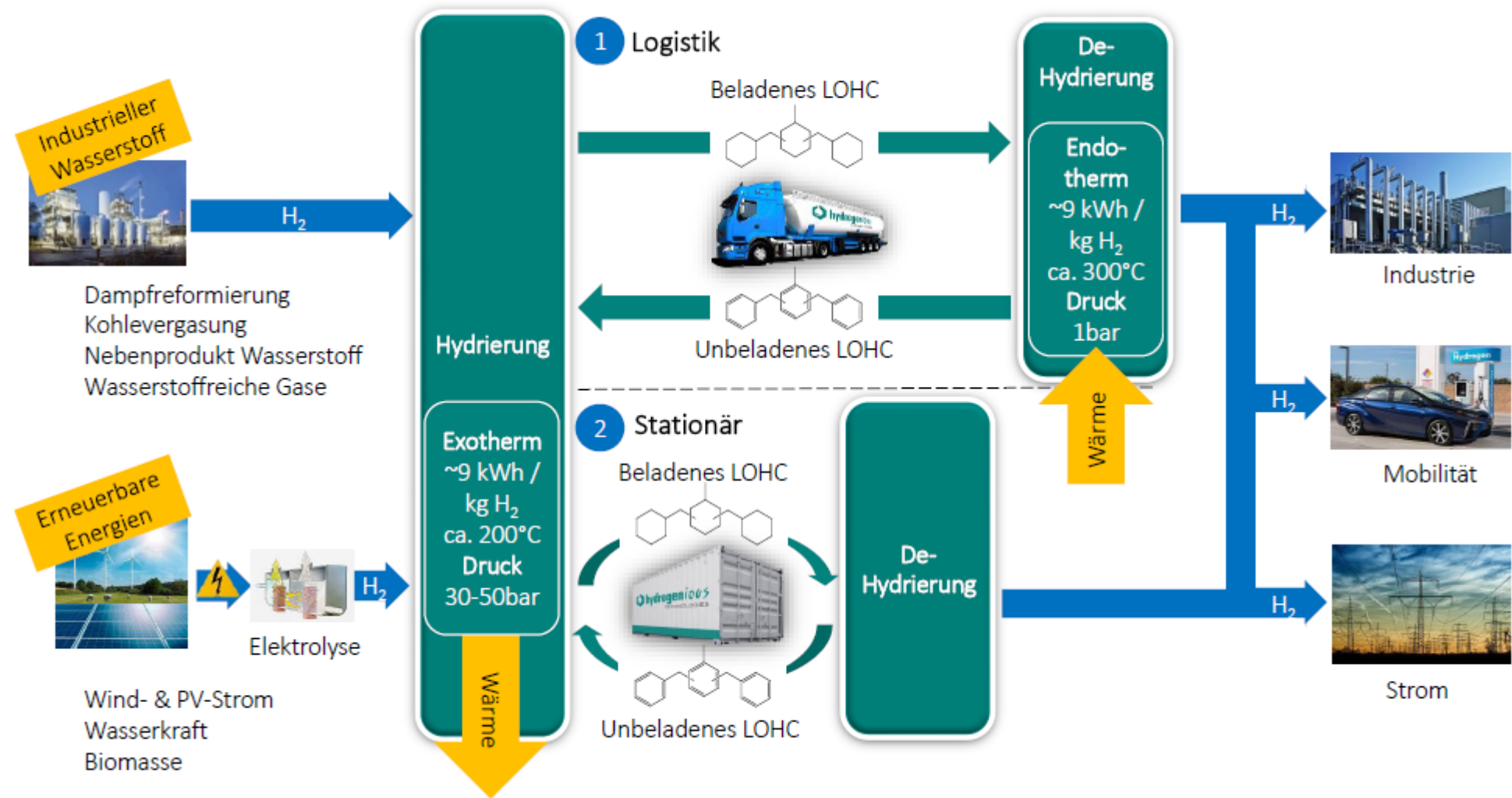


Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC)

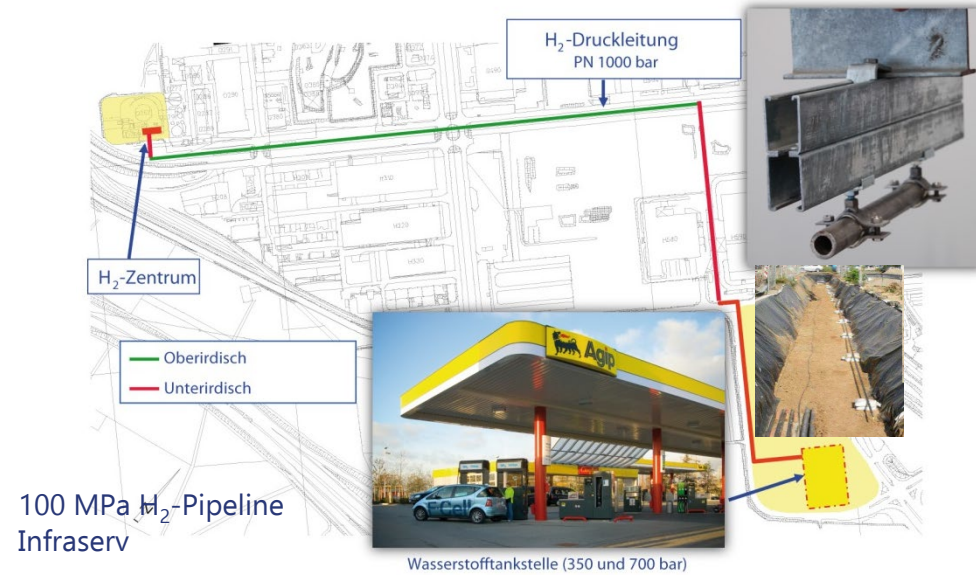


Quelle: Hydrogenious

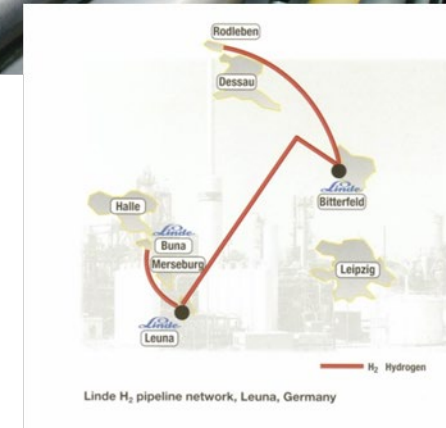
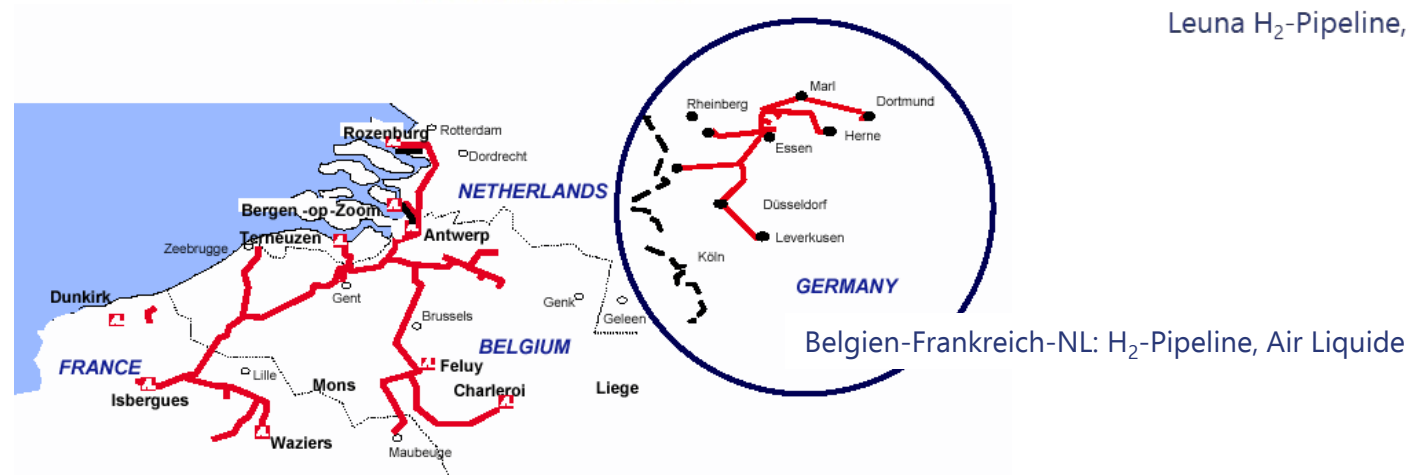
LOHC: Logistikkonzept



H₂-Anlieferung per Pipeline



Leuna H₂-Pipeline, Linde



Möglichkeiten für die Verteilung von Wasserstoff

Dr. Sirko Ogriseck, Ver- und Entsorgung Technik, Infraserb Höchst

in Rohrleitungen (Pipeline)

in verflüssigter Form (LH₂)

in einer chemischen Bindung (LOHC)

als Druckgas (CGH₂)

- Der Transport über Pipelines ist aufgrund von Kosten und planungsrechtlicher Hürden für neue Leitungen aufwendig. Erdgasleitungen können für den Wasserstofftransport umgestellt und um neue Leitungen ergänzt werden.
- Die LH₂-Infrastruktur (Verflüssigungsanlagen) ist europaweit noch nicht ausreichend vorhanden (3 Anlagen). Erstes LH₂-Transportschiff als Demonstrationsprojekt in Japan seit Juni 2021 in Betrieb,
- LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) ist noch im Versuchsmaßstab und steht derzeit nicht kommerziell zur Verfügung.
- Der Transport von Wasserstoff erfolgt heute fast ausschließlich gasförmig in Druckbehältern (Straßentransport), mit Druckstufen von meist 200 bar oder 300 bar, zukünftig auch 380 und 500 bar.



Trailer Druckflaschen liegend
200-250 bar ≈ 500 kg



Trailer Druckflaschen stehend
500 bar ≈ 1.000 - 1.300 kg
380 bar ≈ 1.000 kg
300 bar ≈ 800 - 1.000 kg

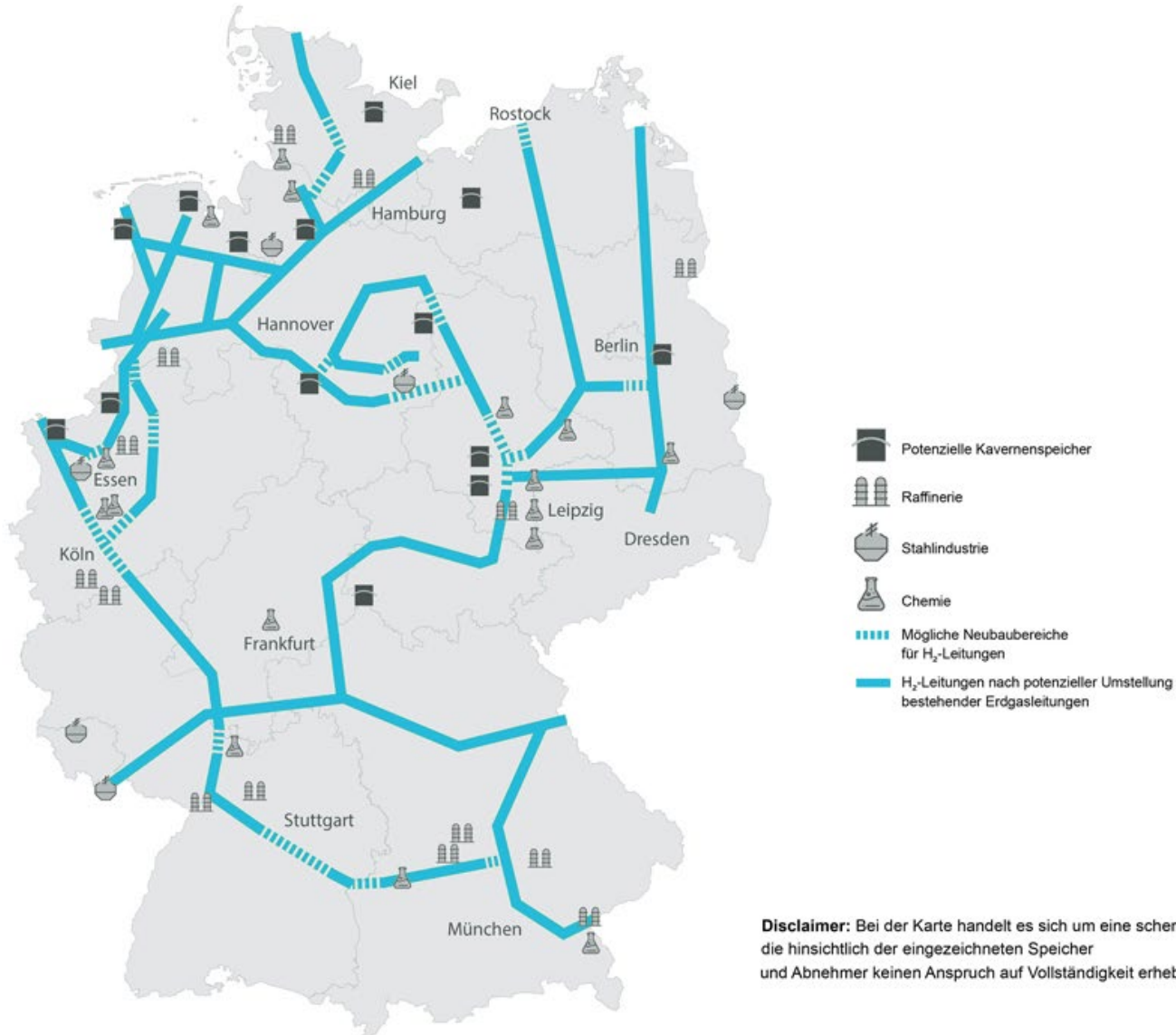


LH₂ Trailer
1-4 bar ≈ 3.300 - 4.000 kg, tiefkalt



1-4 bar ≈ 88.500 kg, tiefkalt

Vorschlag der deutschen Fernleitungsbetreiber für ein 1. Wasserstoffnetz

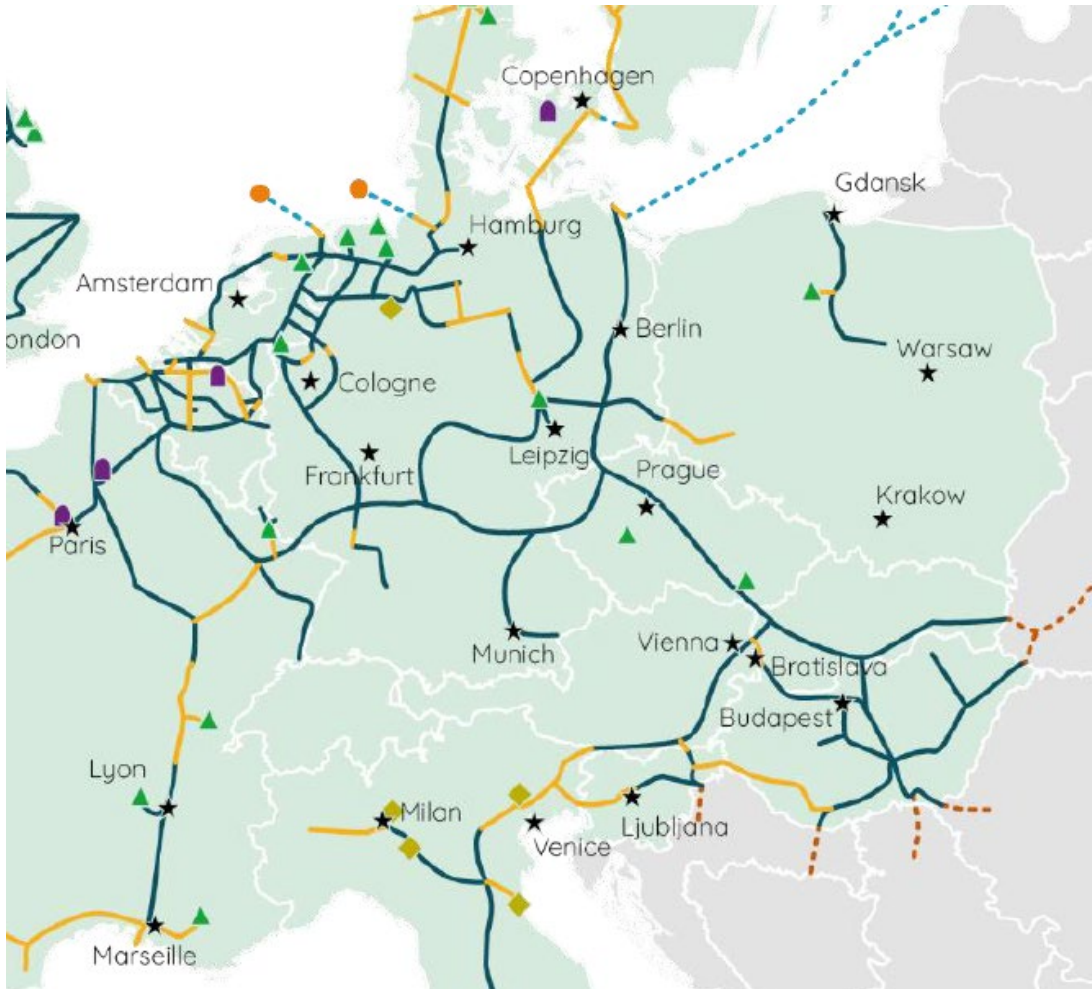


(www.gas.info)
Quelle FNB Gas

H₂-Pipeline-Infrastruktur für die großflächige Verbindung Europas

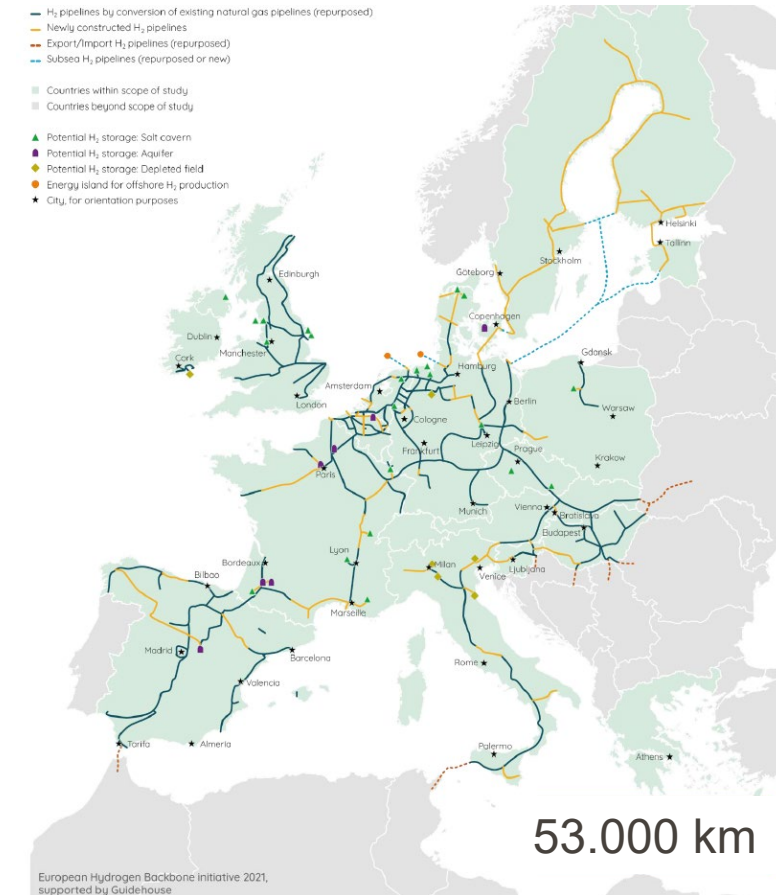


Hochschule RheinMain
IMPACT RheinMain



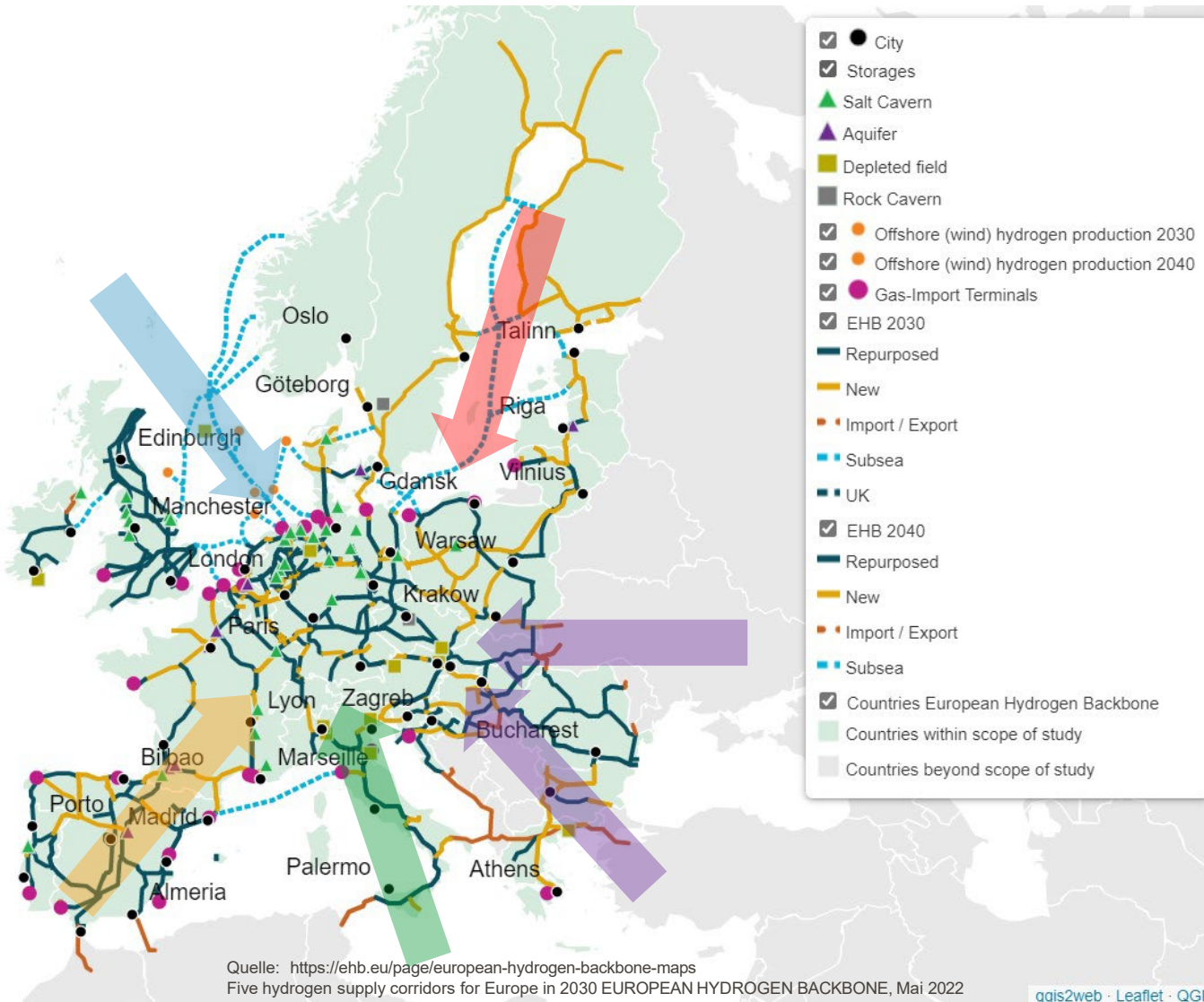
Growing network covers more countries and reaches large potential import regions of green hydrogen in 2035

Die European Hydrogen Backbone Initiative will bis 2030 etwa 6.000 km, 2035 etwa 26.100 km und bis 2040 53.000 km H₂-Pipelines europa-weit betreiben



Quelle:
Extending the
European Hydrogen Backbone
April 2021

European Hydrogen Backbone soll Wasserstofftransport in Europa ermöglichen



~53.000 km

Pipelinelänge in 2040

80 - 143 Mrd. € Gesamtinvestition
bei Nutzung 60 % vorhandener Leitungen

0,11 - 0,21 €/kg (Onshore)

0,17 - 0,32 €/kg (Offshore)

erwartete Transportkosten pro 1.000 km

1,0 - 2,0 €/kg

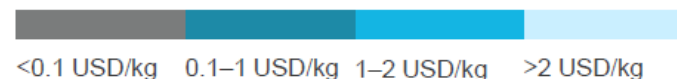
erwartete H₂-Erzeugungskosten




5 H₂-Versorgungskorridore

- Korridor A: Nordafrika & Südeuropa
- Korridor B: Südwesteuropa & Nordafrika
- Korridor C: Nordsee
- Korridor D: Nordeuropa und Ostsee-Region
- Korridor E: Ost- und Südosteuropa

Exhibit 12: Overview of distribution options

Hydrogen Insight Report 2021
Hydrogen Council, Mc Kinsey



		Costs				
		Distribution		Transmission		
		0–50 km	51–100 km	101–500 km	>1,000 km	>5,000 km
Pipelines¹ 	Retrofitted	City grid	Regional distribution pipelines	Onshore transmission pipelines	Onshore/Subsea transmission pipelines	N/A
	New	City grid	Regional distribution pipelines	Onshore transmission pipelines	Onshore/Subsea transmission pipelines	N/A
Shipping 	LH₂	N/A	N/A	N/A	LH ₂ ship	LH ₂ ship
	NH₃²	N/A	N/A	N/A	NH ₃ ship	NH ₃ ship
Trucking 	LOHC²	N/A	N/A	N/A	LOHC ship	LOHC ship
	LH₂ trucking	Distribution truck LH ₂	Distribution truck LH ₂	Distribution truck LH ₂	N/A	N/A
	Gaseous trucking	Distribution truck CH ₂ ³	Distribution truck CH ₂ ³	Distribution truck CH ₂ ³	N/A	N/A

1. Assuming high utilization

2. Including reconversion to H₂; LOHC cost dependent on benefits for last mile distribution and storage

3. Compressed gaseous hydrogen

Exhibit 10: Emerging hydrogen distribution chains

H ₂ value chain	Example end user (Europe, 2030)	Example value chain steps			Cost, USD/kg
		Production	Conversion/transmission	Distribution	
Onsite	Industrial, large scale offtaker	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/low-carbon production 1.6–2.3 USD/kg	<ul style="list-style-type: none"> On-site storage for average of 1 day 0.5 USD/kg		~2–3
Regional	H ₂ refueling stations (HRS)	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/low-carbon production 1.6–2.3 USD/kg	<ul style="list-style-type: none"> Conversion to LH₂ and storage for average of 1 day <i>or</i> Storage as GH₂ for average of 1 day and compression to 700 bar 0.7–1.0 USD/kg	<ul style="list-style-type: none"> Trucking as LH₂ for 300km + operating of 1,000kg LH₂ HRS <i>or</i> Piping as GH₂ for 300km and operating of 1,000kg GH₂ HRS¹ 1.0–2.0 USD/kg	~3–5
International	Industrial, large scale offtaker	<ul style="list-style-type: none"> Renewable/ low-carbon production 1.0–1.4 USD/kg	<ul style="list-style-type: none"> International pipeline for ~9,000km and storage at port for average of 2 weeks <i>or</i> Carrier conversion/reconversion, shipping for ~9,000km and storage at port for average of 2 weeks 0.6–3.5 USD/kg	<ul style="list-style-type: none"> Trucking as LH₂/GH₂ for 300km and onsite storage for average of 1 day <i>or</i> Piping as GH₂ for 300km and onsite storage for average of 1 day 0.1–2.0 USD/kg	~2–7

¹ Refers to usage of existing pipeline to industrial hub

The emergence of international distribution is driven by cost differences for hydrogen production stemming from renewables endowment, the availability of natural gas and carbon storage sites, existing infrastructure and the ease and time requirements for its build-out, land use constraints, and the assignment of local renewables capacity for direct electrification. Many expected hydrogen demand centers, including Europe, Korea, Japan, and parts of China, experience such constraints. In some of these cases, H₂ suppliers will meet this demand more effectively by importing hydrogen rather than producing it locally (see Exhibit 11).

Speicherung und Transport sind **technisch unproblematisch** – allerdings muss die Infrastruktur erst aufgebaut werden.

Noch wenig Erfahrung über lange Zeiträume gibt es einzig mit 70MPa Anwendungen im Verkehr.

Für jede Applikation bzw. Anwendung lässt sich eine Speichermöglichkeit für Wasserstoff finden.

Dehydrieren wie bei LOHC oder Ammoniak ist die Crux aufgrund der hohen energetischen Aufwendungen. Bei Ammoniak kommt noch das Handling als Gefahrstoff dazu....

Der Transport kleinerer Mengen kann mit Gasbündeln und Trailer erfolgen

Transport großer Mengen mit Pipelines, Schiffen usw.

Die Speicherung von großen Mengen Wasserstoff in Kavernen ist möglich, allerdings noch mit technischen Problemen verbunden.

Das Problem sind die letzten Kilometer bis zur Anwendung

...und jetzt freue ich mich auf Ihre Fragen

Prof. Dr. Birgit Scheppat
HS RheinMain
Am Brückweg 26

Birgit.Scheppat@hs-rm.de