

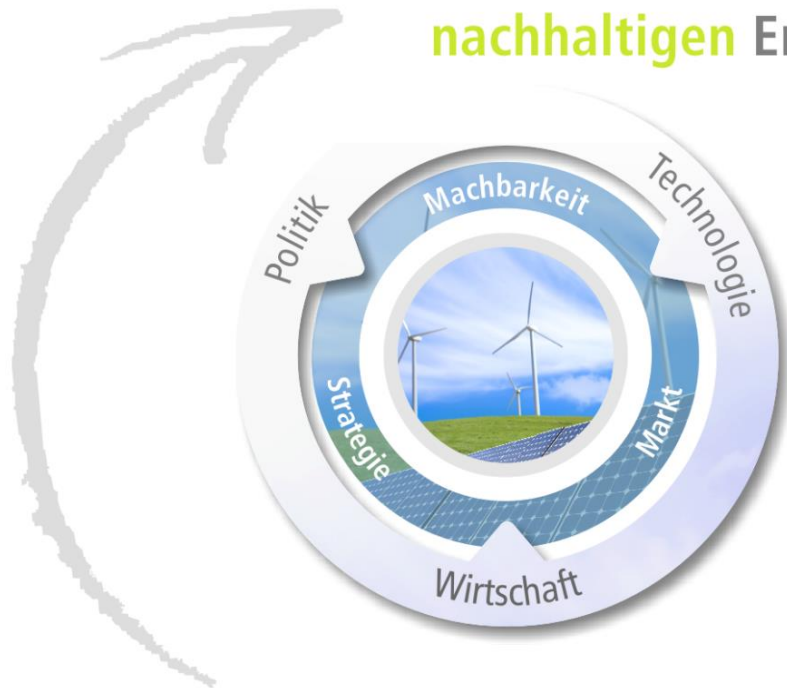


# H<sub>2</sub>-Kraftstoffe und -Betankungsinfrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr

Dipl.-Ing. (FH) Jan Zerhusen

Technische Hochschule Ingolstadt, 29. März 2023

Sicherheit für Ihre nachhaltigen Entscheidungen.



- Unabhängige Expertise expert für nachhaltige Energieversorgung und Mobilität seit 40 Jahren
- Brücke zwischen Politik – Wirtschaft – Technologie
- Erneuerbare Energien, Kraftstoffe, Infrastruktur
- Techno-ökonomische Analysen, Strategieberatung, Politikberatung, System- und Technologiestudien, Lebenszyklusanalysen
- Globale und langfristige Perspektive
- Konsequenter Systemansatz – Denken über Bereichsgrenzen hinweg
- Internationale Kunden in Industrie, Finanzwirtschaft, Politik, und Verbänden



**THG-Emissionen und mögliche  
Entwicklung H<sub>2</sub>-Kraftstoffbedarf**



**H<sub>2</sub>-Kraftstoffe – Energiedichte  
und andere Unterschiede**



**H<sub>2</sub>-Versorgungsvarianten**



**H<sub>2</sub>-Betankungsinfrastruktur**



**Kostenperspektive**

# H<sub>2</sub>-Kraftstoffe und Derivate – Diskutierte Verkehrsanwendungen



## Themenfeld Wasserstoff (H<sub>2</sub>)

### H<sub>2</sub> basierte Energieträger/Kraftstoffe (Derivate)

Ammoniak (NH<sub>3</sub>)



Synthetisches Methan (CH<sub>4</sub> & LNG)



Methanol (CH<sub>3</sub>OH)



Synthetisches Kerosin, Benzin, etc. (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>)



### Wasserstoff als Energieträger

Gasförmiger Druckwasserstoff (H<sub>2</sub>)



Kryogener Flüssigwasserstoff (LH<sub>2</sub>)



Fokus heute

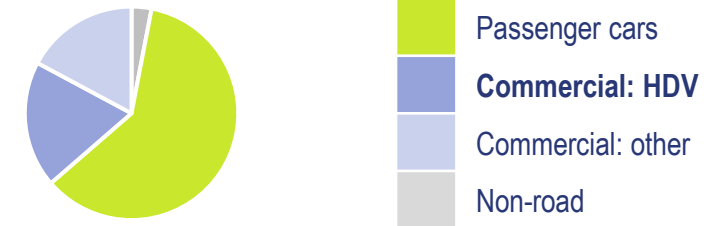
(Auswahl)

# Schwere Nfz: THG-Emissionen & Prognose H<sub>2</sub>-Kraftstoffbedarf

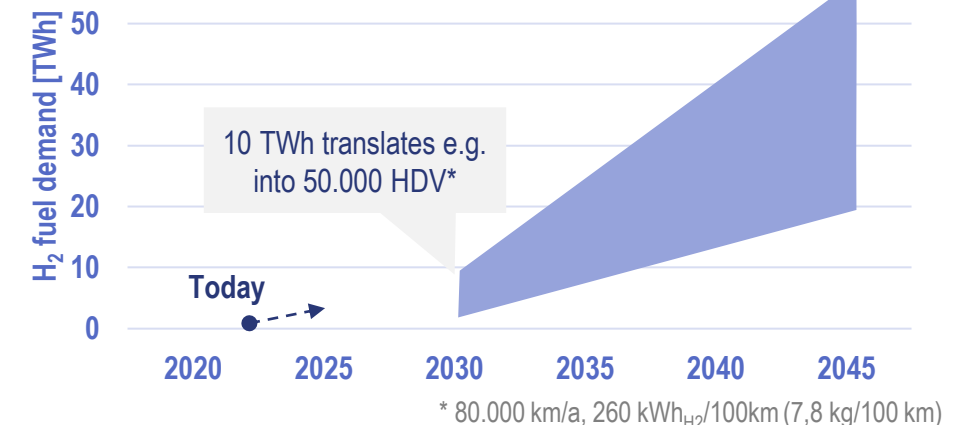


- Deutschlands Ambitionen: Klimaneutral 2045 (Klimaschutzgesetz, 2021)
  - THG-Emissionen insgesamt: - 65% (1990 vs. 2030)
  - Transportsektor: 164 Mt<sub>CO<sub>2</sub>äq.</sub> ↘ 85 Mt<sub>CO<sub>2</sub>äq.</sub> (2019 vs. 2030)
    - Schwere Nfz grob 1/5 der Sektoremissionen
- Aktuelle Studien zur Klimaneutralität bis 2045:
  - H<sub>2</sub>-Bedarf im Transportsektor primär für schwere Nfz im Fernverkehr
  - Starker Anstieg ab 2025

## THG-Emissionen Transportsektor



## Projektion: H<sub>2</sub>-Bedarf im Straßenverkehr





# Steigende Fahrzeugverfügbarkeit

- Erste Kleinflotten und Prototypen sind auf der Straße unterwegs
- Ankündigt sind:
  - H<sub>2</sub>-Modelle weiterer Lkw-Hersteller
  - Steigenden Stückzahlen

Hyundai, >50 Fzg. (CH)  
Clean Logistics, Fahrzeugvorstellung 2022  
Quantron, Produktion ab 2023  
Daimler Truck, Kundenerprobung ab 2023  
Nikola/Iveco, Serienproduktion ab 2023  
MAN, Demoflotte 2024  
Paul Nutzfahrzeuge, 500 Fzg. 2024  
Hyundai, 1.600 Fzg. (CH) 2025  
Daimler Truck, Serienproduktion ab 2027

**2020**  
(Auswahl)

**2025**

**2030**

Grafik aufgrund von  
Bildrechten entfernt

<https://www.daimler-truck.com/innovation-sustainability/efficient-emission-free/mercedes-benz-genh2-fuel-cell-truck.html>

# (Neue) H<sub>2</sub>-Kraftstoffoptionen



- Derzeitige Lkw-Modelle verwenden H<sub>2</sub>-Druckgasspeicher mit 35 MPa (350 bar) Technologie (verfügbar & erprobt)

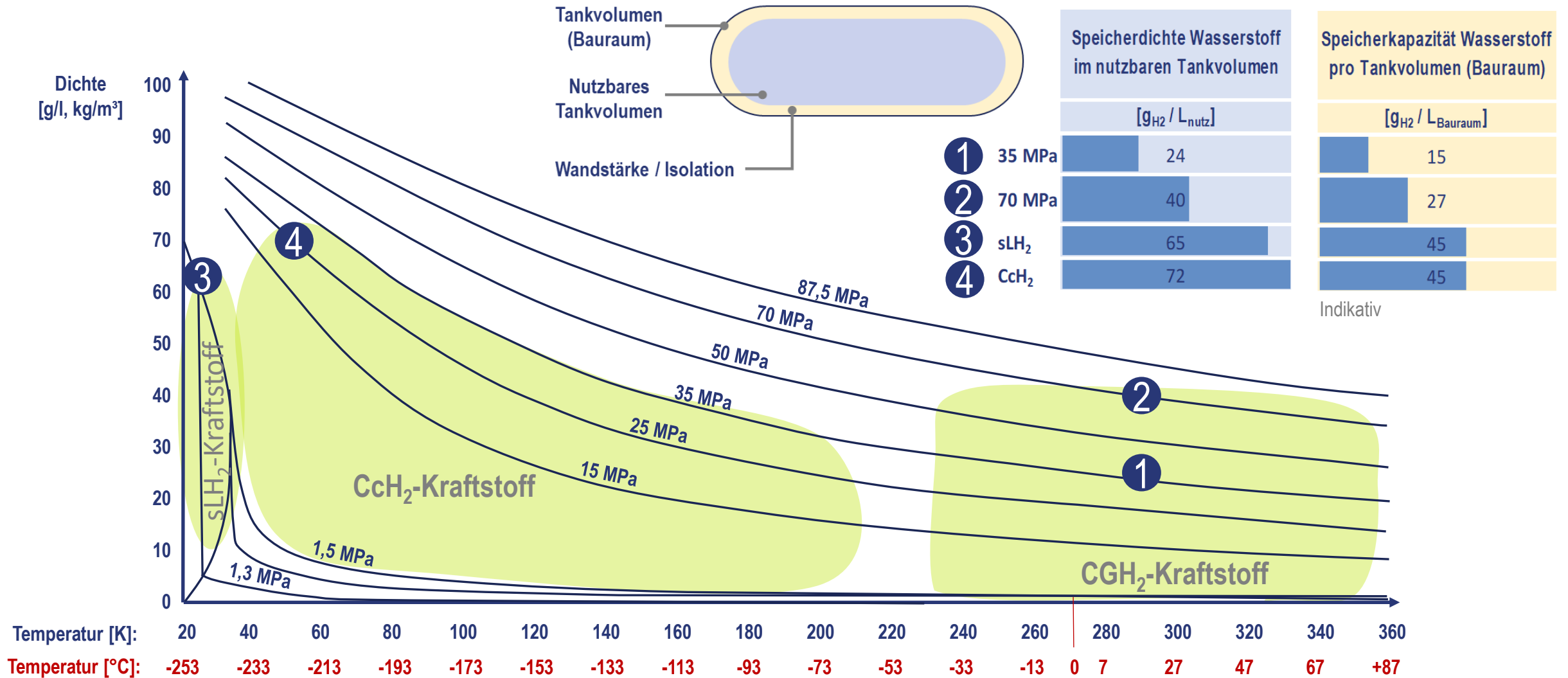


Schwerer Fernverkehr

"Neue" H <sub>2</sub> -Kraftstoffe mit erhöhter Energiedichte		Status Technologie	H <sub>2</sub> -Versorgung der Tankstelle	Verbreitung Know-How
<p>Kapazität: ~ <b>80 kg</b> Reichweite: ~ <b>1.000 km</b> Betankungsdauer: 10 bis 15 Min.</p>	70 MPa Druckwasserstoff	Fortgeschritten	LH <sub>2</sub> oder GH <sub>2</sub>	hoch
	„Subcooled Liquid“ (sLH <sub>2</sub> )	weniger fortgeschritten	Nur LH <sub>2</sub>	eingeschränkt
	„Cryo-compressed“ (CcH <sub>2</sub> )	Weniger fortgeschritten	LH <sub>2</sub> (oder GH <sub>2</sub> )	eingeschränkt

LH<sub>2</sub>: Liquid hydrogen, GH<sub>2</sub>: Gaseous hydrogen

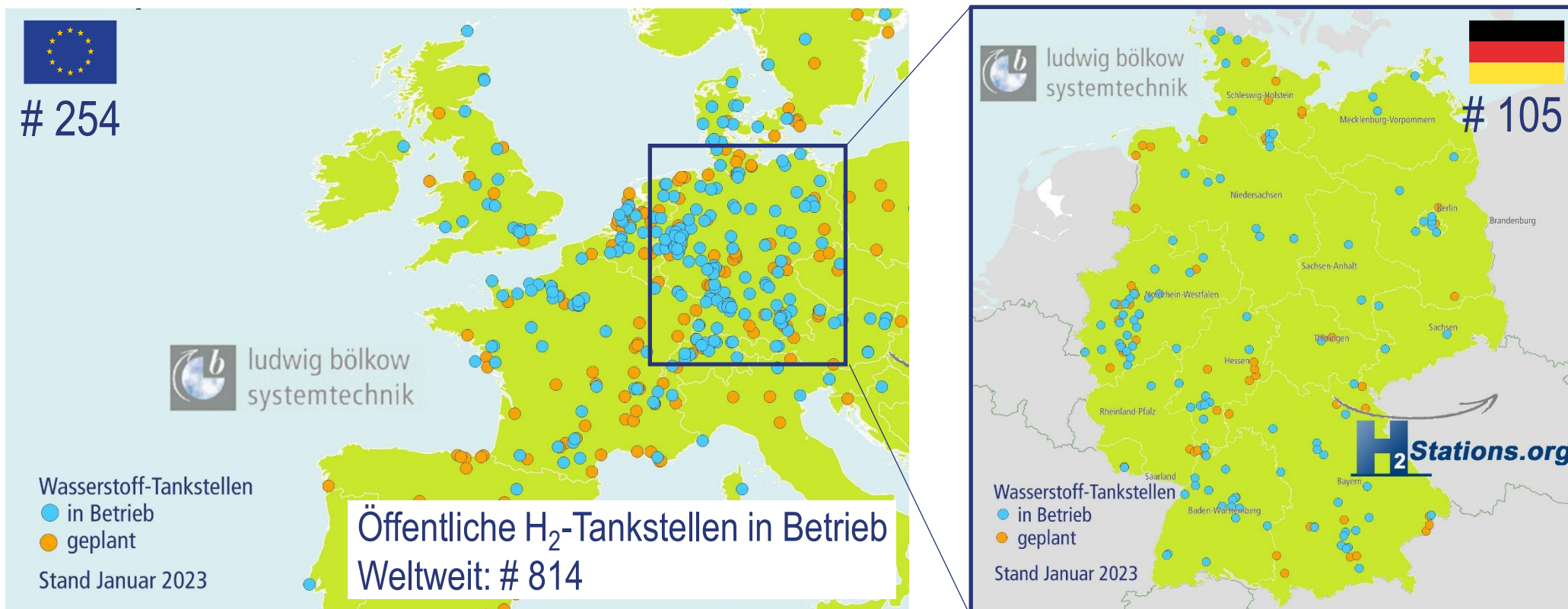
# H<sub>2</sub>-Energiedichte – Abhängig von Temperatur und Druck





# H<sub>2</sub>-Betankungsinfrastruktur – Aktueller Stand

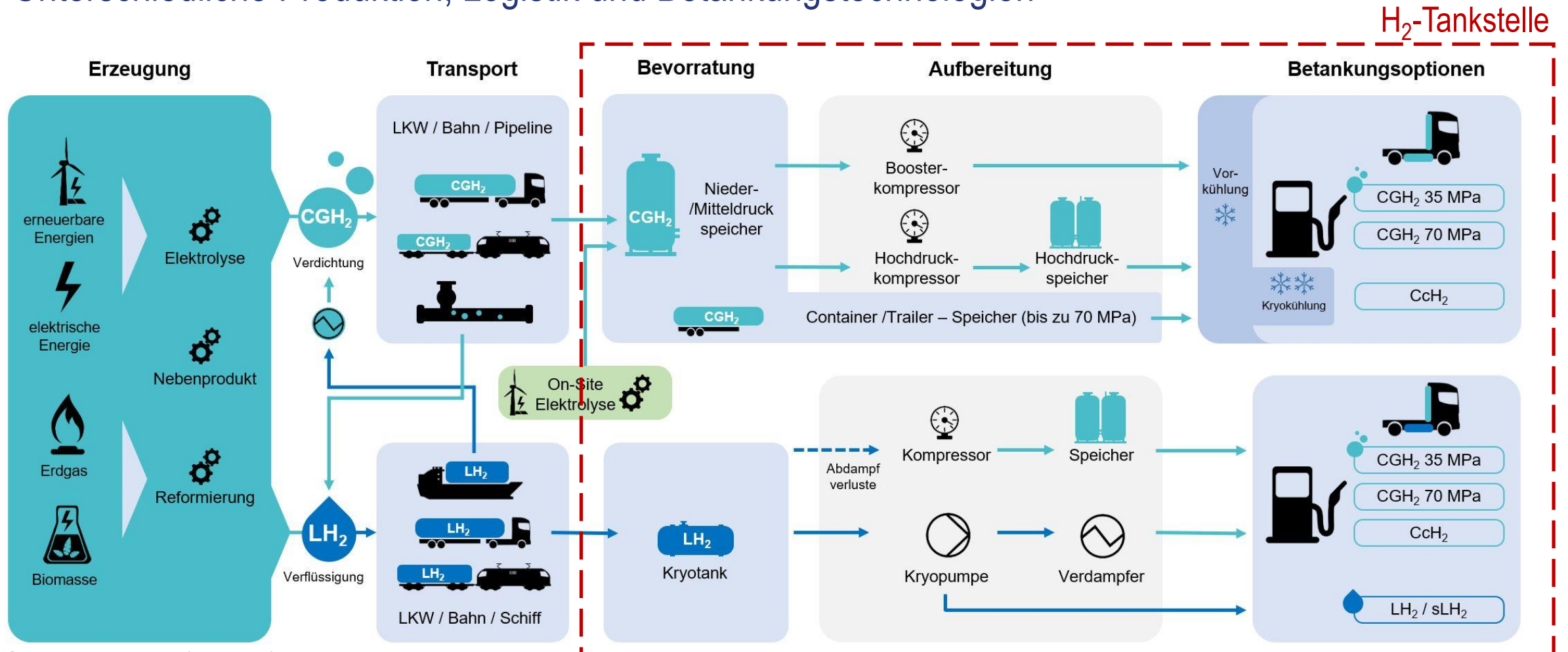
- Öffentliche H<sub>2</sub>-Tankstellen bisher primär zur Pkw-Betankung konzipiert (70 MPa, 5 kg<sub>H<sub>2</sub></sub>)
- Upgrade zur Lkw-Betankung werden derzeit durchgeführt (35 MPa, ca. 20 bis 40 kg<sub>H<sub>2</sub></sub>)



# Kraftstoffversorgung: H<sub>2</sub>-Tankstelle ≠ H<sub>2</sub>-Tankstelle



- Unterschiedliche Produktion, Logistik und Betankungstechnologien



Quelle Abbildung: DLR (genehmigt)

29. März 2023

© Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH

LBST.de 10

# AFIR – Alternative Fuel Infrastructure Regulation

## Entwicklungsperspektiven H<sub>2</sub>-Tankstellen für Nfz im Fernverkehr



Vorschlag des Rats (5/2022)	Vorschlag der Kommission (7/2021)	Vorschlag des Parlamentsausschusses (10/2022)
Ziel bis zum 31.12.2030	Ziel bis zum 31.12.2030	Ziel bis zum 31.12.2027
<b>Öffentliche HRS mit mindestens einer 70 MPa-Zapfsäule</b>		
mindestens <b>alle 200 km</b> im <b>TEN-V-Kernnetz</b>	mindestens <b>alle 150 km</b> im <b>TEN-V-Kern-</b> und <b>TEN-V-Gesamtnetz,</b>  mit einer <b>Mindestkapazität</b> <b>von 2 t pro Tag</b>	mindestens <b>alle 100 km</b> im <b>TEN-V-Kern-</b> und <b>TEN-V-Gesamtnetz,</b>  mit einer <b>Mindestkapazität</b> <b>von 2 t pro Tag</b>
n/a		
<b>Öffentliche HRS mit Abgabe von Flüssigwasserstoff</b>		
n/a	mindestens <b>alle 450 km</b>	mindestens <b>alle 400 km</b>
n/a	<b>Zusätzlich</b> muss bis dahin <b>mindestens eine HRS an jedem „städtischen Knoten“</b> verfügbar sein.	
Die Tankstellen müssen jeweils zur Versorgung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen ausgelegt sein. Zusätzlich werden Anforderungen an die Bezahloptionen sowie eine nicht diskriminierende Preisgestaltung definiert.		

Bei TEN-V (Transeuropäische Netze – Verkehr) handelt es sich um definierte Verkehrsnetze (z.B. Autobahnen), die zur Entwicklung des europäischen Binnenmarktes von besonderer Bedeutung sind.

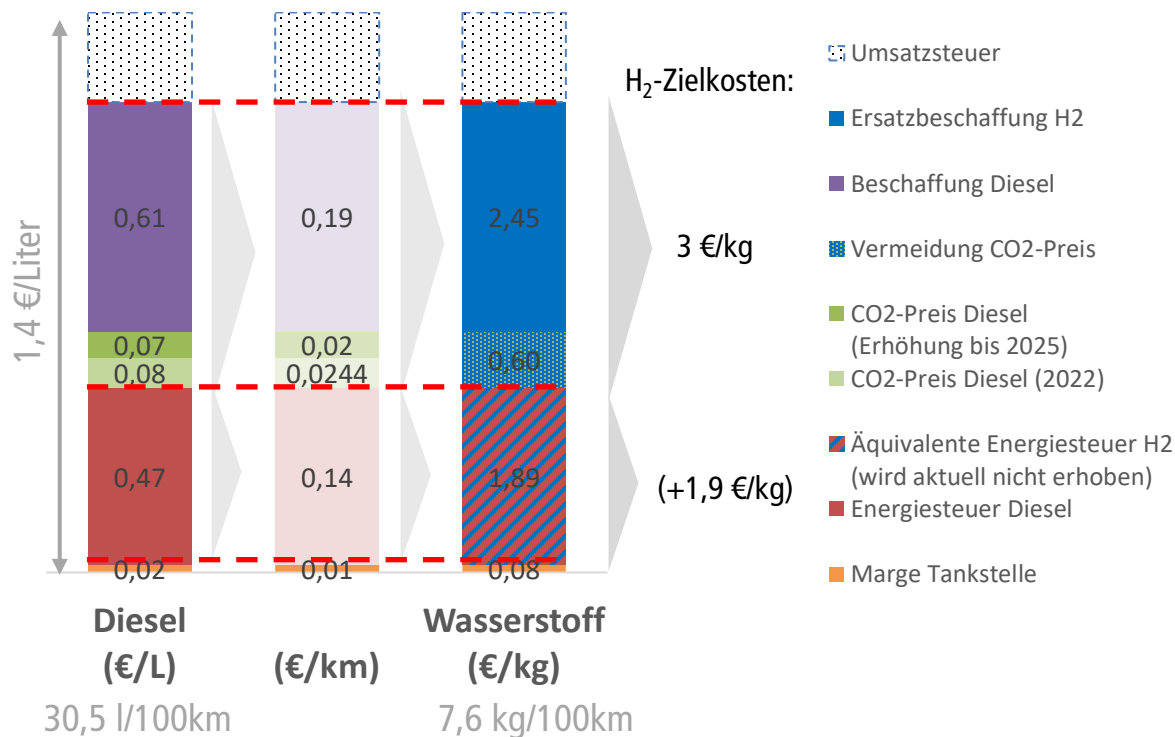
# Kostenperspektive – H<sub>2</sub>-Kraftstoff (allgemein)



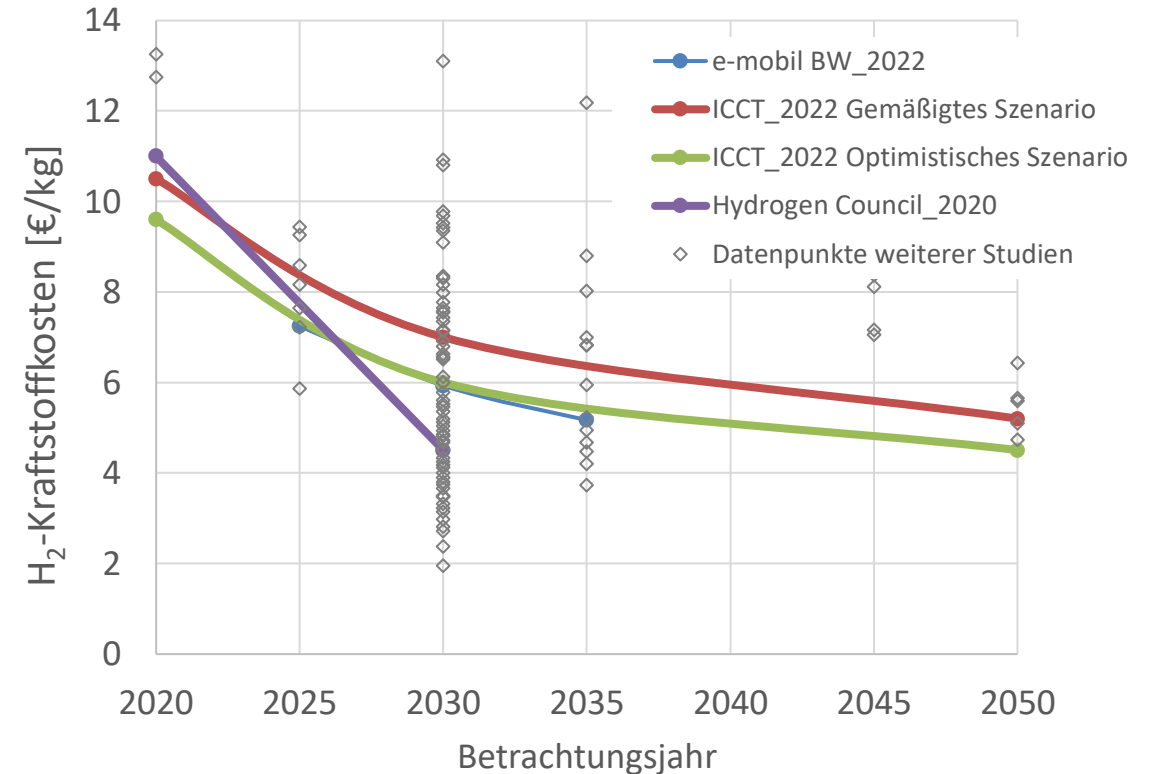
## ■ Preisparität Kraftstoff – Was dürfen H<sub>2</sub>-Kraftstoffe kosten?

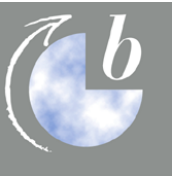
(Für eine vollständige Logistik-TCO müssen natürlich auch Fahrzeug, Maut, etc. betrachtet werden, hier geht es vereinfacht nur um den Kraftstoff)

### Übersetzung von Diesel auf H<sub>2</sub>-Kosten



### Metaanalyse H<sub>2</sub>-Kraftstoffkosten





**Wasserstoff als Kraftstoff wird im Lkw Fernverkehr erwartet**



**Hohe Reichweiten durch hohe Energiedichte darstellbar**



**Drei H<sub>2</sub>-Kraftstoffoptionen gegenwärtig in der Diskussion**



**Unterschiedliche Infrastrukturanforderungen**



**H<sub>2</sub>-Kraftstoffkosten von ca. 5 €/kg erforderlich und erreichbar**



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Jan Zerhusen**

Senior Project Manager

E: [jan.zerhusen@LBST.de](mailto:jan.zerhusen@LBST.de)

Hinweis auf kommende LBST-Studie zum Thema:

## **H<sub>2</sub>-Infrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr**

Aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven

Wer: LBST & DLR; Veröffentlicht durch e-mobil BW

Wann: April 2023

**LBST · Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH**

Daimlerstr. 15 · 85521 München/Ottobrunn · Germany

[www.lbst.de](http://www.lbst.de)

