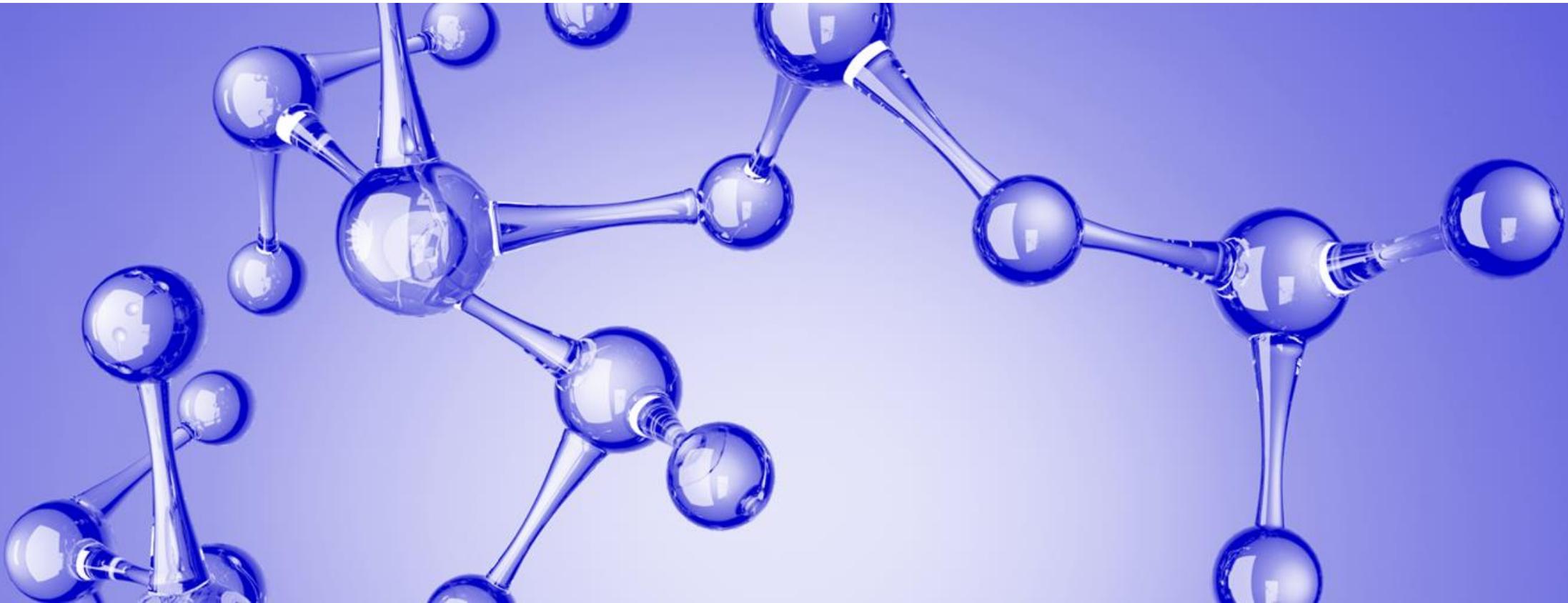




WASSERSTOFF-KOMPASS

Für den Regierungsbezirk Arnsberg





Liebe Leser und Leserinnen,

Die Reaktionen auf das Thema Wasserstoff im Verkehrssektor schwanken zwischen Euphorie und großer Skepsis. Als Unternehmer möchte ich die Transformation des Güterverkehrs aktiv und mit Optimismus begleiten. Dafür ist die Wirtschaft jedoch darauf angewiesen, dass die öffentliche Hand ebenfalls mutig voranschreitet und die Infrastruktur zur Verfügung stellt.

Sowohl den Entscheidungsträgern in den Kommunen als auch dem Verkehrssektor fällt es schwer, die richtigen Weichen für die Zukunft zu stellen, solange viele entscheidende Einflussfaktoren im Ungefähren liegen. Es passt ins Bild, dass laut Energiewendebarmeter des DIHK nur 12% der Unternehmen in Deutschland aktuell den Einsatz von Wasserstoff planen.

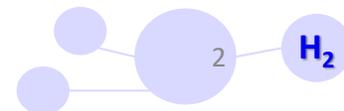
Niemand möchte bei Nebel mit Vollgas unterwegs sein. Es scheint aber auch keine Option zu sein, die Geschwindigkeit zu reduzieren. Aus diesem Grund möchte der Verkehrsverband Westfalen einen Beitrag leisten, um den Nebel zu lichten.

Das vorliegende Gutachten bescheinigt dem Bezirk des Verkehrsverbandes Westfalen sehr gute Startvoraussetzungen, zu einer führenden Wasserstoffregion zu werden. Es gibt uns aber auch den Auftrag, die vorhandenen Kräfte besser zu vernetzen und neue zu aktivieren!

Wo sollte innovative Mobilität besser zuhause sein als in Westfalen!

Ich wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre und bedanke mich bei allen Beteiligten für die Mitarbeit.

Marc Simon, Vorstandsvorsitzender Verkehrsverband Westfalen e.V.





Zusammenfassung

Wasserstoff wird über **unterschiedliche** chemisch-physikalische **Prozesse** hergestellt. Langfristiges Ziel ist **100 Prozent grüner Wasserstoff**.

In **4 Modellprojekten** werden im Regierungsbezirk Arnsberg regionale **Wasserstoff-Ökosysteme** aufgebaut.

Bis 2030 sollen in **Europa** mehr als **20 Mio. Tonnen H₂** in einem **28.000 km** langen **Gasnetz** verteilt werden.

Für den **Antrieb von Fahrzeugen** kann Wasserstoff in einer **Brennstoffzelle** die notwendige Energie erzeugen oder **direkt verbrannt** werden.

Fossile, Elektro- und H₂-Antriebe haben jeweils spezifische **Vor- und Nachteile**.

Fahrzeuge mit H₂-Antrieben werden bereits **heute** in unterschiedlichen Kontexten **eingesetzt**.

Die **Tankstelleninfrastruktur** ist der Knackpunkt für den Hochlauf von Wasserstoff im Verkehrsbereich.

Die **Betankung von Fahrzeugen mit gasförmigen Wasserstoff und 350 bar** Druck ist technologisch **am weitesten** vorangeschritten.

Im **Regierungsbezirk Arnsberg** gibt es bereits **drei Tankstellen**. Weitere sind geplant.

In einem lebendigen Wasserstoff-Ökosystem agieren **viele Stakeholder**, die wichtige **Impulse** setzen.

Auch für die **Schifffahrt** und auf der **Schiene** werden **wasserstoffbasierte Antriebslösungen** entwickelt. (F. 57)

Viele Faktoren beeinflussen die preisliche **Wettbewerbsfähigkeit** grünen Wasserstoffs.

Der Zielbereich für grünen Wasserstoff liegt bei **6,0 ct je kWh** bis **2050**.

Eine **systemische Sichtweise** sensibilisiert für individuelle **Herausforderungen** und gemeinsame **Synergien**.

Die Parallelisierung von Fahrzeugentwicklung und Infrastrukturausbau (**Henne-Ei-Problematik**) ist die größte Herausforderung für die Transportwirtschaft.

6 Forderungen an die Politik sollen die Dekarbonisierung im **Transportwesen unterstützen**.



Der Wasserstoff-Kompass wurden von Januar bis Juni 2022 durch die IW Consult GmbH erarbeitet. Der Wasserstoff-Kompass beinhaltet zwei Säulen:

- Im Rahmen einer Akteursanalyse wurde das heute schon im Regierungsbezirk Arnsberg existierende Wasserstoff-Ökosystem erfasst. Unternehmen, Organisationen, Einrichtungen, Netzwerke u.ä. wurden mittels Web- und Datenbankrecherche erhoben. Ausgewählte Ergebnisse dieser Akteursanalyse wurden in Landkarten überführt, die in diesem Wasserstoff-Kompass enthalten sind. In einer Excel basierten Datenbank sind die Ergebnisse im Detail festgehalten und können durch den Verkehrsverband Westfalen e.V. fortgeschrieben werden.
- Im Rahmen des vorliegenden Wasserstoff-Kompasses erfolgte eine inhaltliche Aufarbeitung der Wasserstoff-Thematik. Neben einer kurzen Einführung in das chemische Element H₂ und seiner erwarteten Relevanz als Energieträger informiert der Wasserstoff-Kompass detailliert über Möglichkeiten des Einsatzes von Wasserstoff zur Dekarbonisierung des (gewerblichen) Verkehrs. Obgleich der Fokus auf dem Straßenverkehr liegt, werden Möglichkeiten in der Schifffahrt und auf der Schiene vorgestellt. Der Kompass endet mit Forderungen an die Politik, um die Dekarbonisierung des Regierungsbezirks Arnsberg zu ermöglichen und zu beschleunigen.

Die Studienerkenntnisse stammen zum einen aus umfangreichen Webrecherchen. Zum anderen wurde die Meinung von ausgesuchten Experten eingeholt, um den aktuellen Status quo wiederzugeben und allgemeine Erkenntnisse für den Regierungsbezirk Arnsberg einordnen zu können. Im Rahmen eines halbtägigen Workshops mit relevanten H₂-Akteuren aus dem Regierungsbezirk Arnsberg wurde im Juni 2022 die regionale Perspektive erweitert.

Der Wasserstoff-Kompass möchte Ihnen den Einstieg in die Thematik erleichtern und kann auch als Arbeitsbuch dienen, um sich intensiv(er) mit emissionsfreien Lösungen für das eigene Unternehmen, die Wirtschaft, Produktion und Logistik auseinanderzusetzen. Bitte beachten Sie daher folgende Hinweise:



Entdecken Sie mehr durch die hinterlegten Weblinks, die Sie in Logos oder Grafiken entdecken können.

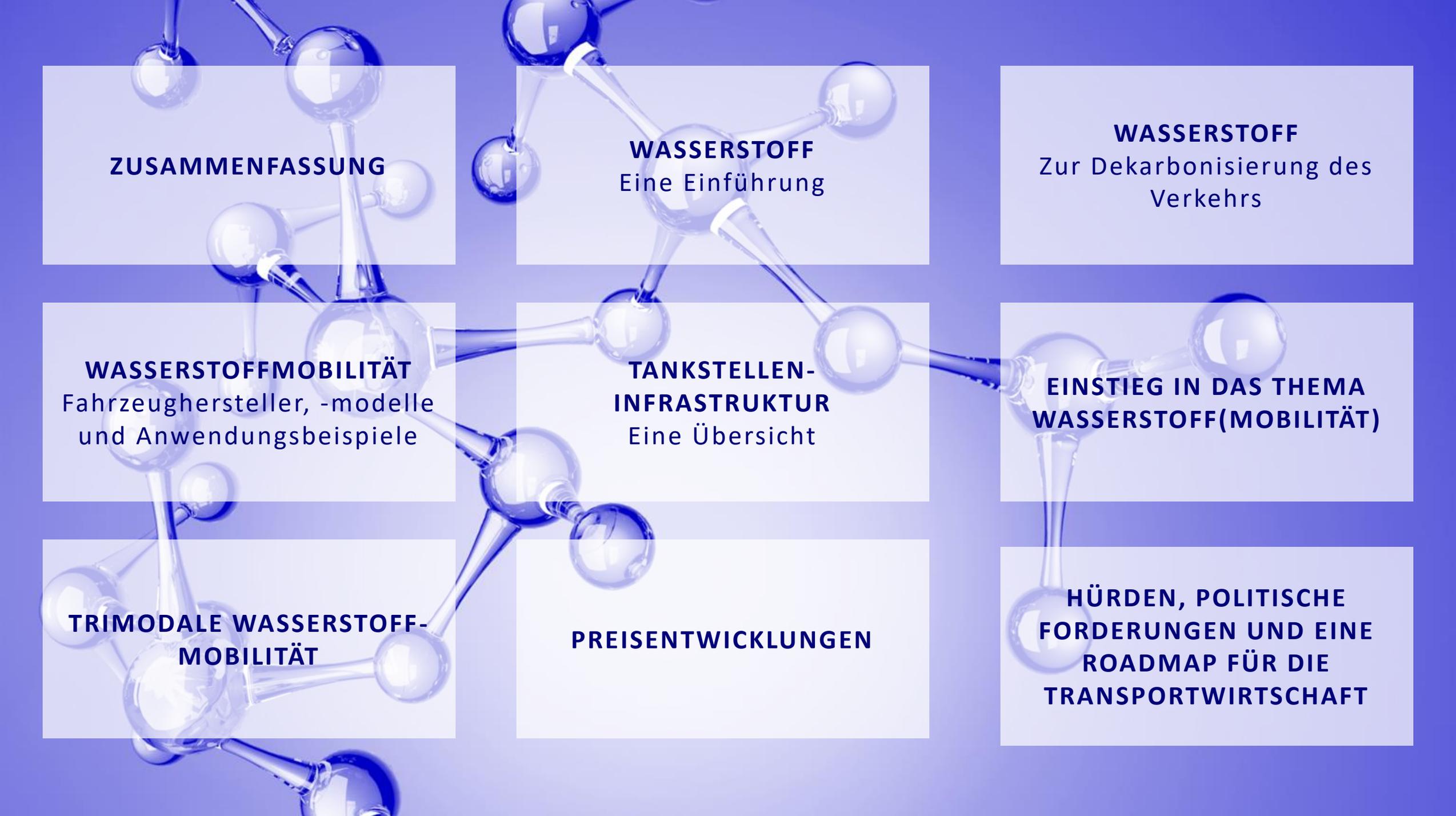


An dieser Stelle möchten wir Ihnen Denkanstöße mitgeben.



Wir ordnen Ergebnisse ein oder geben zusätzliche Informationen.





ZUSAMMENFASSUNG

WASSERSTOFF
Eine Einführung

WASSERSTOFF
Zur Dekarbonisierung des
Verkehrs

WASSERSTOFFMOBILITÄT
Fahrzeughersteller, -modelle
und Anwendungsbeispiele

**TANKSTELLEN-
INFRASTRUKTUR**
Eine Übersicht

**EINSTIEG IN DAS THEMA
WASSERSTOFF(MOBILITÄT)**

**TRIMODALE WASSERSTOFF-
MOBILITÄT**

PREISENTWICKLUNGEN

**HÜRDEN, POLITISCHE
FORDERUNGEN UND EINE
ROADMAP FÜR DIE
TRANSPORTWIRTSCHAFT**



WASSERSTOFF

Eine Einführung





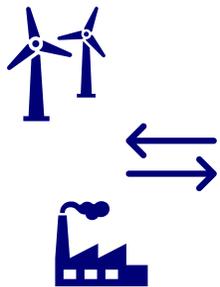
Wasserstoff ist ...

- geruchsneutral und farblos,
- entzündlich,
- 14-mal leichter als Luft.
- 1 kg H₂ = 2,8 kg Benzin (unterer Heizwert)
(entspricht 3,7 l Benzin bei einer Dichte i.H.v. 750 kg/m³)

Wasserstoff erzeugt ...

- sehr geringe Emissionen in Verbrennungsmotoren,
- keine direkten Emissionen als Sekundärenergieträger unter Nutzung erneuerbarer Primärenergieträger.

Für die Beurteilung der Umweltfreundlichkeit ist die gesamte Wert- und Brennstoffkette für die Beurteilung entscheidend.



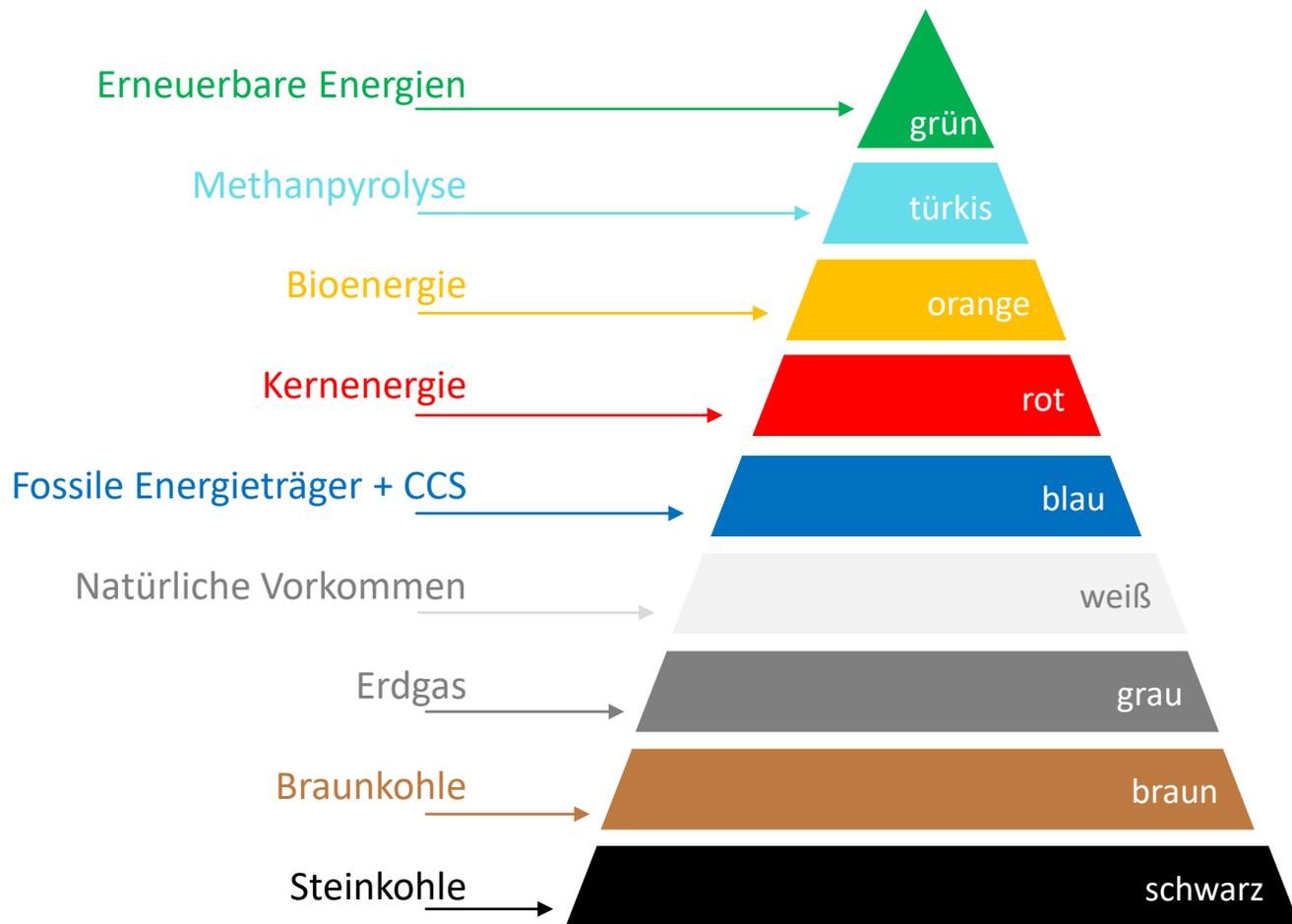
Wie und wo wird der Wasserstoff erzeugt?

Wie und über welche Strecke wird der Wasserstoff transportiert?

Wie und wozu wird der Wasserstoff verwendet?



Wasserstoff – Hoffnungsträger der Energiewende



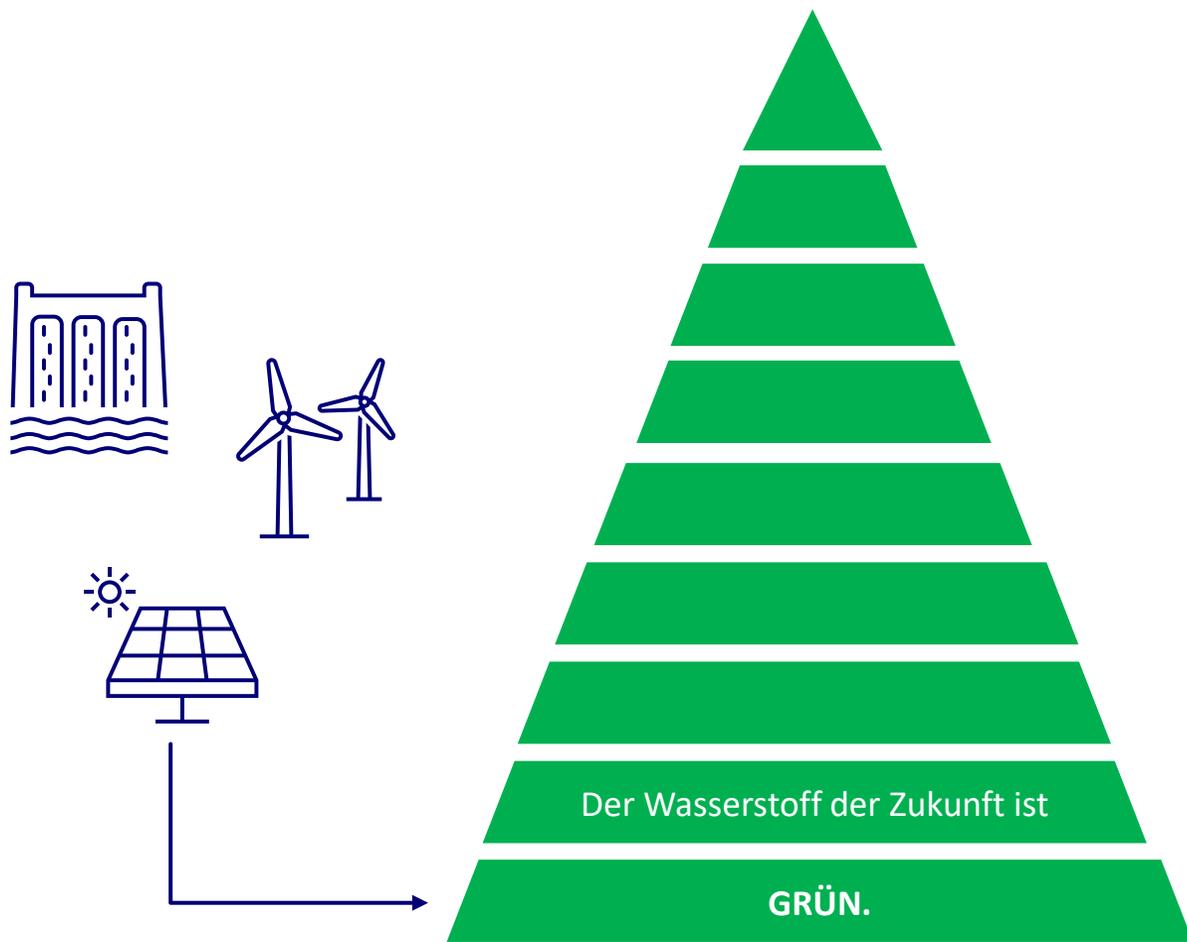
Mit dem Ziel, in Deutschland 2045 klimaneutral zu sein, setzt die Politik ehrgeizige Ziele. Aufgrund seiner **Speicherfähigkeit**, seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als **Energieträger** und als Element zur **Kopplung** unterschiedlicher Industriesektoren eröffnet Wasserstoff neue Dekarbonisierungspfade für Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft.

Heute:

Mehr als **90 %** des H₂ in D stammt aus **fossilen Brennstoffen.**



Treibhausgasneutrale Erzeugung: grüner Wasserstoff



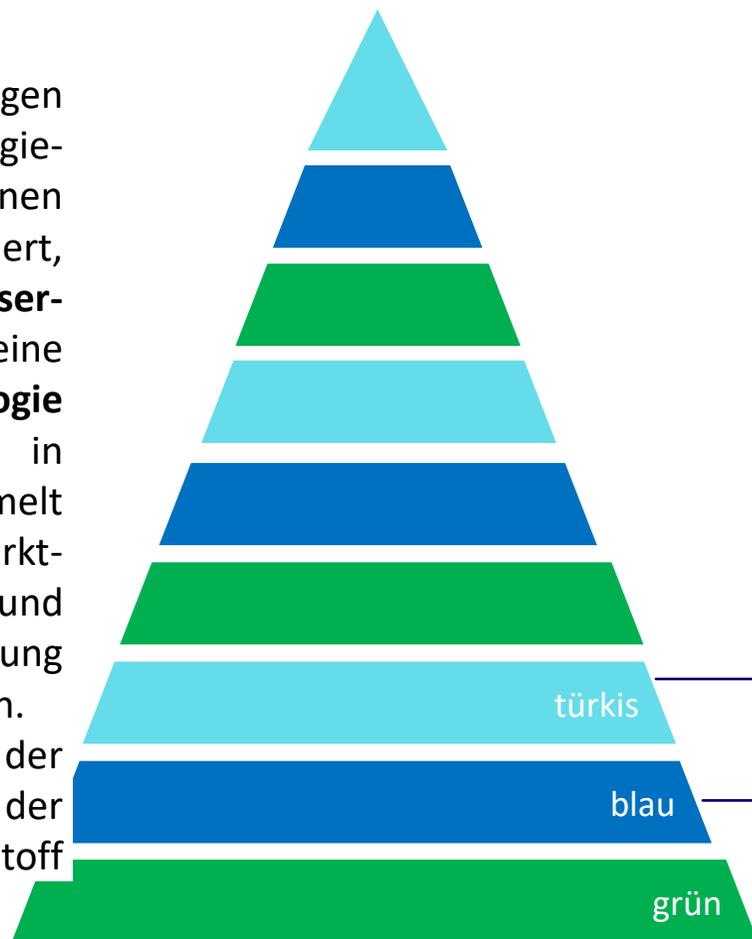
Mittels Strom kann durch den Prozess der Elektrolyse Wasserstoff hergestellt werden. Hierfür wird Wasser in einem Elektrolyseur in seine Bestandteile Wasserstoff H_2 und Sauerstoff O_2 zerlegt. Wird für diesen Prozess Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt, spricht man von grünem Wasserstoff. Nur diese Form der Wasserstoff-Erzeugung gilt als treibhausgasneutral und klimafreundlich.

Ziel 2050:
Ausschließlich **grüner**
Wasserstoff



Kohlenstoffarmer H₂-Mix als Brücke zur Klimaneutralität

Auf dem Weg zur vollständigen Dekarbonisierung der Energiegewinnung durch grünen Wasserstoff wird auch diskutiert, ob **kohlenstoffarmer Wasserstoff** (low carbon hydrogen) eine sinnvolle **Brückentechnologie** darstellt. Erfahrungen, die in diesem Rahmen gesammelt werden, könnten den Markthochlauf beschleunigen und Erkenntnisse in der Forschung und Entwicklung voranbringen. Vor dem Hintergrund der aktuellen Gasknappheit ist der Nutzen von blauem Wasserstoff jedoch fraglich.



TÜRKISER WASSERSTOFF

- Entsteht bei der Methanpyrolyse: Spaltung des im Erdgas enthaltenen Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff
- Aufbewahrung des Kohlenstoffgranulats in Bergwerkstollen
- Ggf. Möglichkeit zur Wiederverwendung des Kohlenstoff-Granulats
- CO₂-emissionsfrei, sofern die benötigte Energie aus Erneuerbaren Energien stammt

BLAUER WASSERSTOFF

- Entsteht durch Dampfreformierung fossiler Brennstoffe (z.B. Erdgas, Kohle, Öl)
- Nicht CO₂-emissionfrei: CO₂ als Abfallprodukt
- Mittels CCS-Technik Bindung des CO₂ für die unterirdische Lagerung

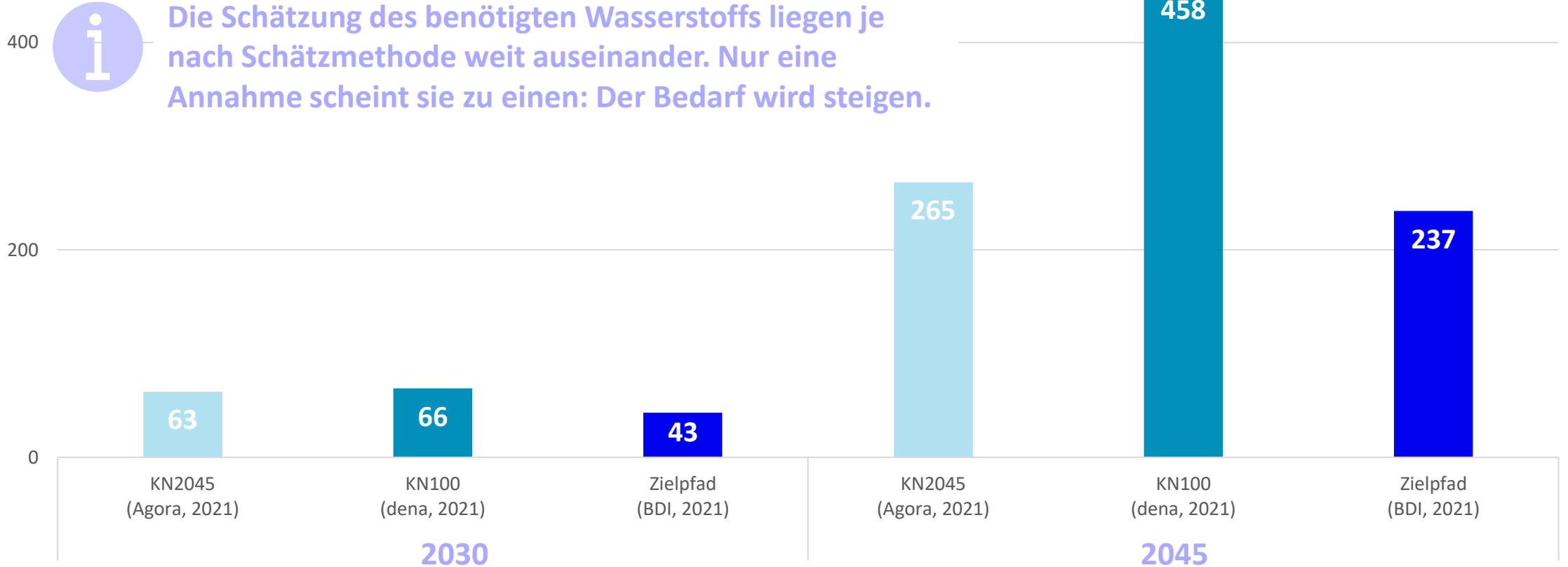
GRÜNER WASSERSTOFF

- Entsteht bei der Wasserstoffelektrolyse
- Spaltung von Wasser in seine Komponenten Sauerstoff und Wasserstoff
- CO₂-emissionsfrei, sofern die benötigte Energie aus Erneuerbaren Energien stammt



Wie viel Wasserstoff wird in D voraussichtlich benötigt?

Gesamtbedarf an klimafreundlichem Wasserstoff in TWh

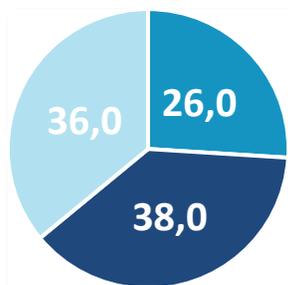




Wo wird Wasserstoff-Nachfrage erwartet?

Prognostizierte Wasserstoffnachfrage nach Sektoren

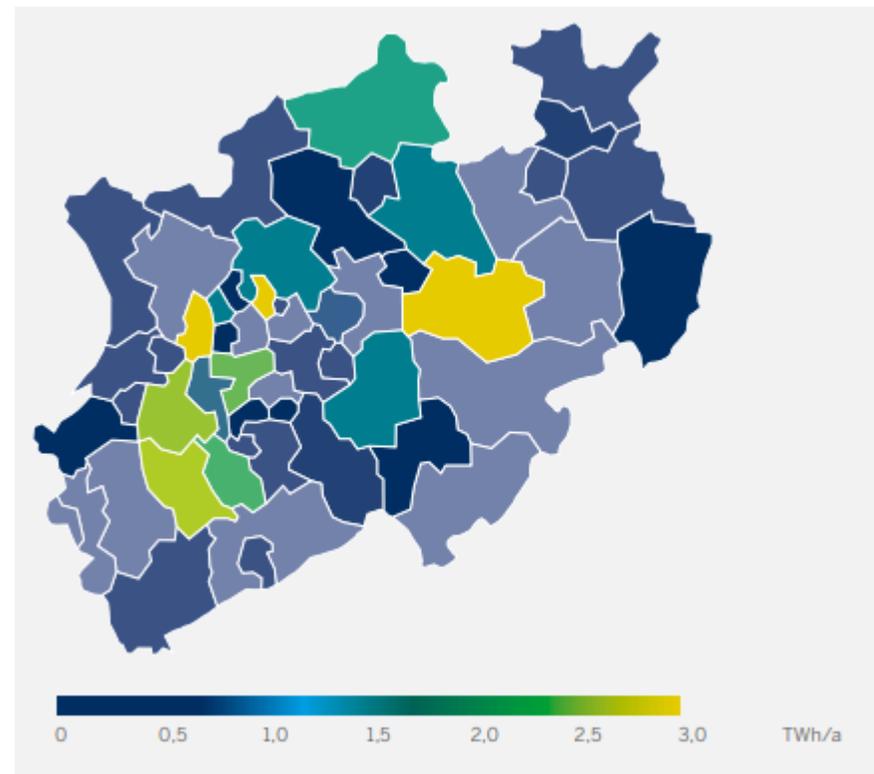
Deutschland im Jahr 2050
Angaben in Prozent



- Industrie
- Verkehr
- Gebäude/ Umwandlung

Auf unterschiedlichen Wegen kann Wasserstoff dazu beitragen, die Wirtschaft zu dekarbonisieren. Zum einen kann der mit Wasserstoff erzeugte Strom als Energieträger fungieren; zum anderen bestehen Potenziale Wasserstoff als alternative Antriebsmöglichkeit im gewerblichen Verkehr zu verwenden.

Die regionale Nachfrage nach Wasserstoff wird an den Industriestandorten deutlich höher sein als in jenen Regionen, die Wasserstoff überwiegend im Gebäude- und Verkehrsbereich einsetzen wollen. Im Regierungsbezirk Arnsberg ist eine hohe Nachfrage im Landkreis Soest u.a. aufgrund der dort ansässigen Zementindustrie und im industriegeprägten Märkischen Kreis zu erwarten. Aktuell ist der Verbrauch allerdings noch gering.



Prognostizierte Wasserstoffnachfrage in den Stadt- und Landkreisen in NRW im Jahr 2050



Wasserstoffregionen im Regierungsbezirk Arnsberg



PROJEKTGESELLSCHAFT WASSERSTOFFZENTRUM HAMM

- Verantwortet von Trianel und Stadtwerke Hamm
- Erzeugungsanlage für Wasserstoff in Hamm-Uentrop (20 MW)
- Grünstrom aus der Nordsee sowie regionaler PV-Anlagen
- Einsatz von Wasserstoffbussen und Abfallsammelfahrzeugen



- Seit 1.1.2022 vom BMDV gefördert
- Organisatorische und inhaltliche Beratung der Akteure vor Ort, um die Nutzung von Wasserstoff in den Bereichen Verkehr, Wärme, Strom, Speicher regional zu etablieren
- Entwicklung eines Zielszenarios für das Jahr 2030 innerhalb des laufenden Jahres
- Identifikation von Wasserstoff-Potenzialen (Produktion, Nutzung) und konzeptionelle Vorarbeiten für ihre Umsetzung (z.B. Infrastruktur, Anwendungen) in einem partizipativem Prozess
- Akteurskreis (Stand 02/2022): u.a. Kreis Soest, Stadtwerke Soest, Warsteiner, thyssenkrupp, ENERTRAG, HeidelbergCement

- Seit 1.10.2021 vom BMDV gefördert
- Förderung der Entwicklung eines regionalen Wasserstoff-Gesamtkonzepts innerhalb der nächsten zwei Jahre
- Fokus auf die Entwicklung einer lokalen Wasserstoffwirtschaft in Hagen-Kabel aufgrund der vorhandenen Anschlüsse an das Erdgasnetz
- Nutzung von Stromüberschüssen zur Wasserstoffproduktion
- Aufbau einer öffentlichen Wasserstoffinfrastruktur (Tankstellen) sowie auf Betriebshöfen

KLIMASCHUTZ-MODELLREGION SAUERLAND

- Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung Juli 2021, Projektstart Mitte 2022
- Ziel: Klimaneutralität der Stadt Arnsberg mittels Wasserstoff-Technologie
- Umstellung der 11 km langen Gas-Hochdruckleitung zwischen Arnsberg und Eisborn auf Wasserstoff
- Bau einer Pyrolyse-Anlage zur Wasserstoffproduktion sowie einer Tankstelle
- Erweiterung der Modellregion um weitere Städte und Gemeinden

westenergie



In ausgewählten Regionen arbeiten Politik, Verwaltung, die öffentliche Hand und Industrieunternehmen bereits an der Entwicklung von Wasserstoff-Ökosystemen. Ausstrahlungseffekte auf andere Regionen sind zu erwarten. Allerdings darf der industriegeprägte Märkische Kreis nicht zurückfallen.



Wie kommt der Wasserstoff nach Deutschland?

Mehr als 20 Millionen Tonnen

grünen Wasserstoffs möchte die EU bis 2030 bereitstellen. Diese Mengen sollen durch heimische Erzeugung innerhalb der EU und Importe von außerhalb der EU erreicht werden.

28.000 km

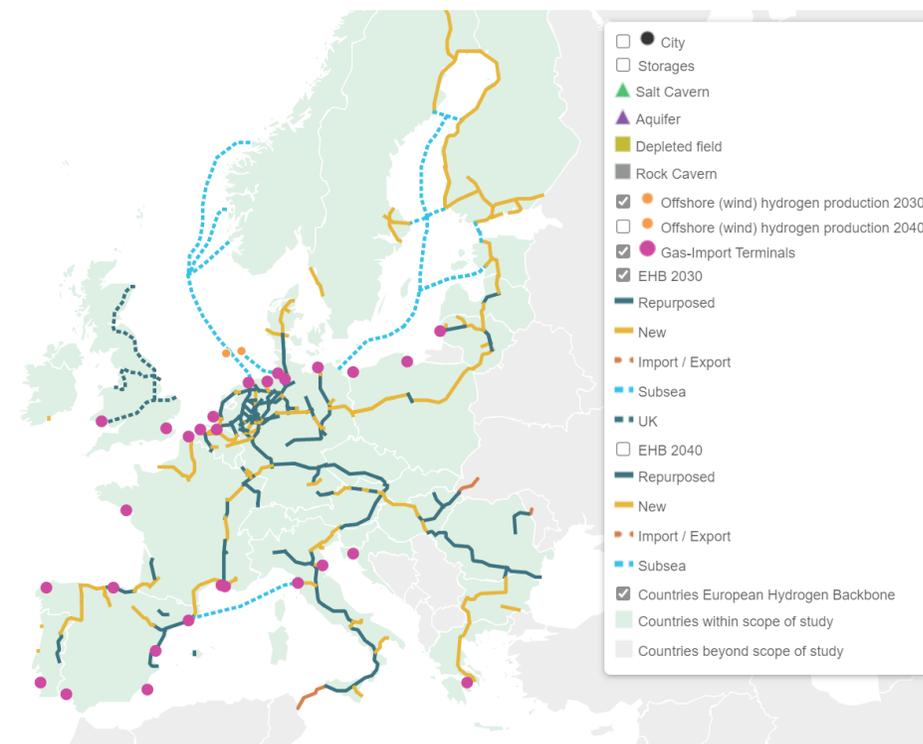
soll das H₂-Gasnetz umfassen, das im Jahr 2030 Erzeugerregionen und Importterminals mit Industriezentren verbinden soll.

5 Korridore

kanalisieren die Erzeugung und Verteilung grünen Wasserstoffs innerhalb Europas und so die Nutzung von grünem Wasserstoff überall in Europa ermöglichen:

- Nordafrika-Italien-Korridor
- Südwest-Korridor
- Südost-Korridor
- Nordsee-Korridor
- Baltischer Korridor

European Hydrogen Backbone 2030





Wie kommt der Wasserstoff nach Deutschland?

53.000 km

bis 2040 kann sich die Länge des H₂-Verteilnetzes mehr als verdoppeln.

60 Prozent

des Netzes könnte auf umgenutzten, bestehenden Gasleitungen basieren.

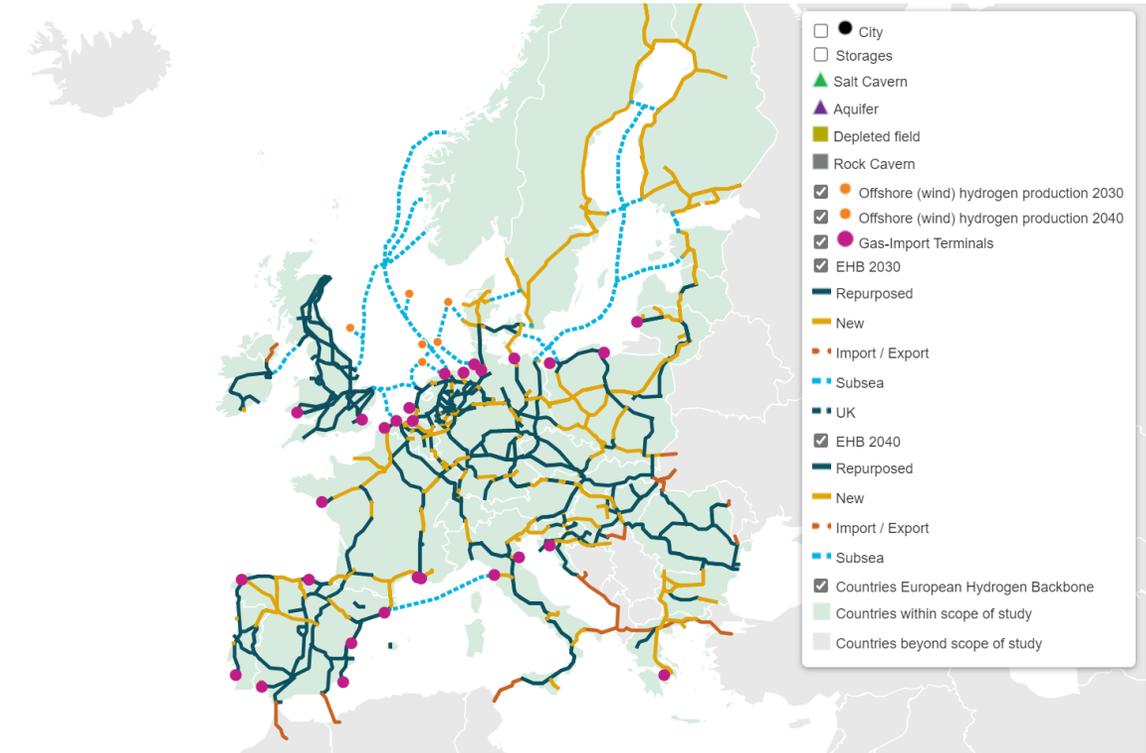
1.640 TWh

könnten 2040 jedes Jahr durch grünen Wasserstoff in Europa bereitgestellt werden.

Zwischen 0,17-0,32 €

könnte der Transport eines kg H₂ über 1.000 km kosten. Die ausschließliche Nutzung der Unterwasser-Pipelines ist teurer (0,17-0,32 €) als der onshore-Transport (0,11-0,21 €).

European Hydrogen Backbone 2040





Wie wird Wasserstoff in Deutschland verteilt?

5.100 km

ist das H₂-Netz im Jahr 2030 lang. Hiervon sind 3.700 km umgenutzte Gasleitungen. 71 TWh könnten so bereitgestellt werden.

6 Mrd. Euro

betragen die Investitionskosten bis 2030.

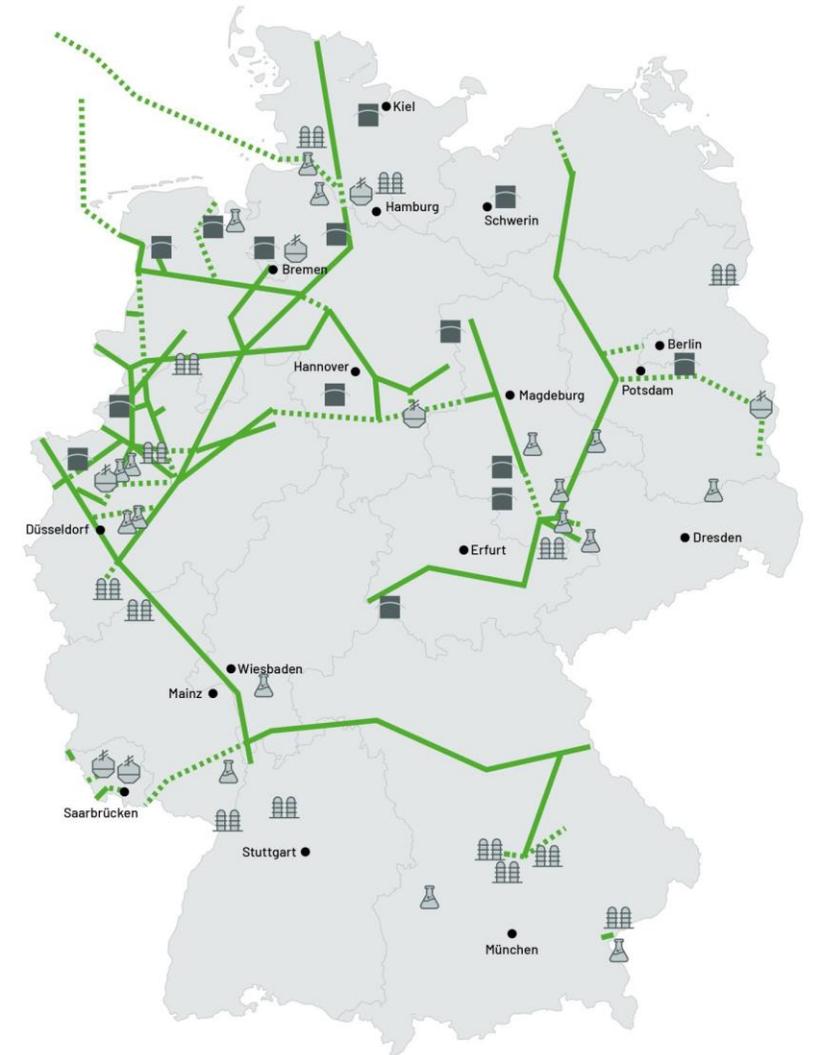
Industrie als Nr. 1

Wasserstoff wird bis 2030 hauptsächlich von der Industrie genutzt. Nutzungen für Wärme und Verkehr beschränken sich auf regionale Modellregionen.

Importe und Power-to-Gas-Anlagen

im Norden Deutschlands (Niedersachsen, Schleswig-Holstein) speisen das H₂-Netz.

H₂-Netz 2030



Verbrauchsschwerpunkte	Speicherung	Wasserstoffnetz 2030
Raffinerien	Kavernenspeicher	Umstellung
Chemie		Neubau
Stahlindustrie		



Wie wird Wasserstoff in Deutschland verteilt?

13.300 km

ist das H₂-Netz im Jahr 2050 lang. Hiervon sind 11.000 km umgenutzte Gasleitungen. 504 TWh könnten so bereitgestellt werden.

18 Mrd. Euro

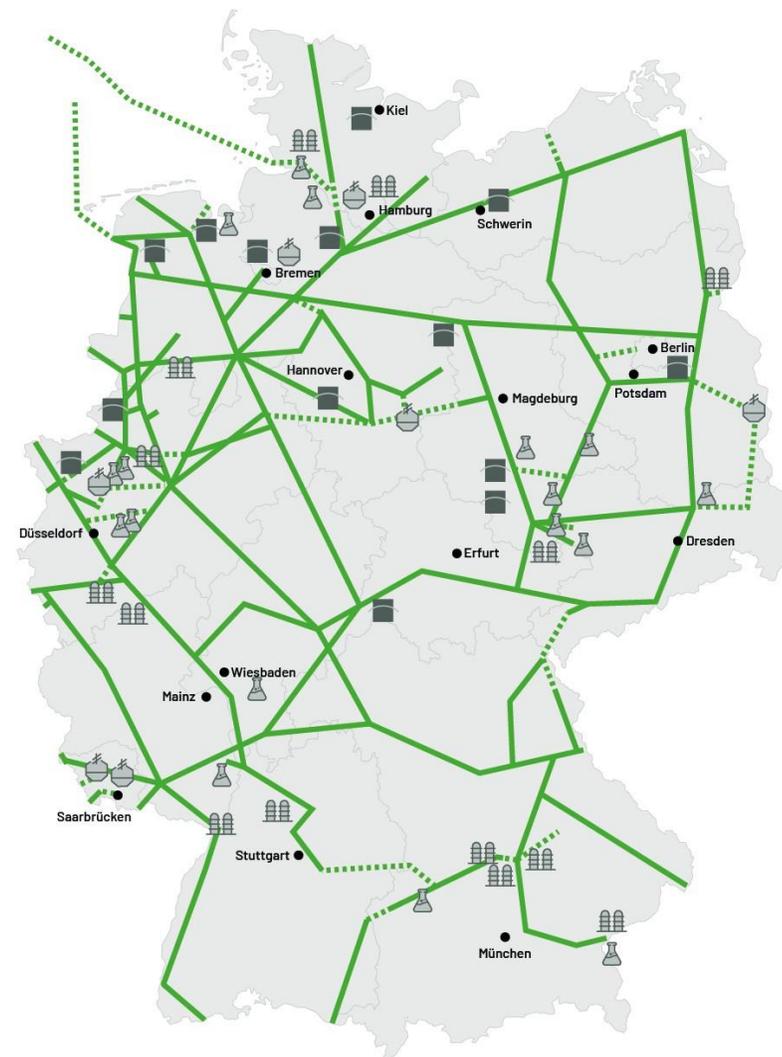
betragen die Investitionskosten bis 2050.

Verbrauchsschwerpunkte Chemie- und Stahlindustrie

Bis 2050 steigt der Bedarf nicht nur in der Industrie, sondern auch in den Bereichen Verkehr und Wärme/ Gebäude.

Als energieintensive Großregion und aufgrund der günstigen Lage zu den niederländischen Seehäfen ist NRW bereits bis 2030 an das deutschlandweite H₂-Netz angebunden. Die größte Herausforderung stellt für den Regierungsbezirk Arnsberg die „letzte Meile“ dar.

H₂-Netz 2050



Verbrauchsschwerpunkte	Speicherung	Wasserstoffnetz 2050
Raffinerien	Kavernenspeicher	Umstellung
Chemie		Neubau
Stahlindustrie		



Potenziale für die Nutzung von H₂ im Regierungsbezirk Arnsberg



Die Potenziale eine funktionierende Wasserstoffwirtschaft sind im Regierungsbezirk Arnsberg vorhanden.

Seit der Veröffentlichung der landesweiten Wasserstoff-Roadmap im Jahr 2020 ist klar, dass Wasserstoff in NRW zu einem relevanten Energieträger der Zukunft wird. Ausdruck findet dies in verschiedenen regionalen Modellprojekten, in denen sich regionale Akteure zusammenschließen und mit und ohne öffentliche Fördermittel der Hochlauf und die Anwendung von Wasserstoff beschleunigen.

Begünstigend für diese Vorhaben ist die Nähe zu Wasserstoff bzw. zu entsprechenden Trägermaterialien, die über den See- und Binnenweg nach NRW transportiert werden. Für den Regierungsbezirk Arnsberg wird es daher relevant werden den Anschluss an dieses Netz herzustellen und die regionale Verteilung von Wasserstoff sicherzustellen.

Die energieintensiven Industrieunternehmen sind wichtige Ankernutzer, um eine ausreichende Nachfrage zu generieren. Darüber hinaus können Kommunen und öffentliche Verkehrsbetriebe eine wichtige Ankernachfrage für den Verkehrssektor erzeugen



Industrie als Ankernutzer



Nähe zu H₂-Pipeline und Gasnetzbetreibern



Regionale Modellprojekte



Wasserstoff-Roadmap NRW



WASSERSTOFF

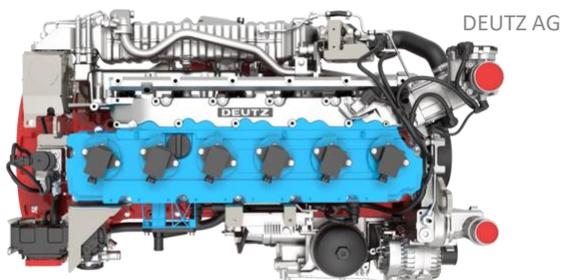
Zur Dekarbonisierung des Verkehrs





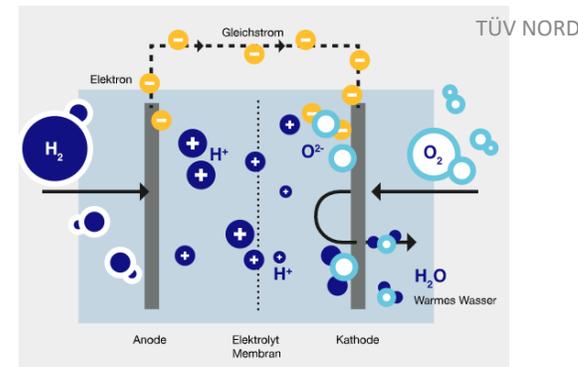
Wie funktioniert ein Wasserstoffantrieb?

Wasserstoffverbrennungsmotor



- Wasserstoff fungiert als Kraftstoff für einen Verbrennungsmotor (analog zu Otto- und Dieselmotoren).
- Trotz früher Entwicklungen bei BMW Ende der 1970er Jahren spielt der Wasserstoffverbrennungsmotor in aktuellen Diskussionen keine Rolle.
- Nichtsdestoweniger entwickelt die DEUTZ AG einen Wasserstoffverbrennungsmotor, um diesen für Mobilität im „Off-Highway-Bereich“ zu nutzen. Zusätzlich eignet sich die Technologie auch für stationäre Anlagen, Generatoren und den Schienenverkehr. Die Serienproduktion ist für 2024 geplant.

Brennstoffzelle



- In einer Brennstoffzelle wird elektrischer Strom produziert, welcher die Batterie eines Fahrzeugs mit Strom speist. In einem Brennstoffzellenfahrzeug erfolgt also die Stromversorgung mithilfe von Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) autark.
- Eine Brennstoffzelle besteht aus einem Zellenverbund (sog. Stack oder Stapel), die in Schichten oder als Röhrensystem angeordnet sind.
- Im Kern einer einzelnen Zelle erfolgt die Elektrolyse: Der Elektrolyt ist beidseitig von Elektrodenplatten eingefasst. Über die Elektrodenplatten werden die Gase Wasserstoff und Sauerstoff eingespeist. Dabei werden die Gase über Katalysatorflächen geführt. Bei der so initiierten Spaltung des Wasserstoffs entsteht Strom. Dieser Strom speist die Pufferbatterie und den elektrischen Antrieb.
- Die übrig bleibenden Wasserstoffprotonen verbindet sich mit dem zugeführten Sauerstoff zu Wasser (H_2O). Dieser wird im Anschluss als emissionsfreier Wasserdampf ausgestoßen.



Arten von Wasserstoff-Brennstoffzellen

Membran-Brennstoffzelle/ PEM-Brennstoffzelle PEMFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Wasserstoff und Laufsauerstoff • Elektrolyt: Polymer-Membran • Niedertemperatur • Leistungsbereich bis 500 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Mobile Anwendungen inkl. Luft-Raum, Schifffahrt • Stationäre Anwendung in Form von Notstromversorgung bei kritischen Infrastrukturen, Hausenergieversorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Vielseitig einsetzbar • Dynamische Leistungsabgabe, Toleranz ggü. Lastschwankungen, hohe Effizienz • Größtes Potenzial für Massenfertigung
Direkt-Methanol-Brennstoffzelle DMFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Methanol und Laufsauerstoff • Elektrolyt: Polymer-Membran • Niedertemperatur • Leistungsbereich bis 100 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Anwendung für netzferne Stromversorgung (z.B. Messstationen, Überwachungssysteme) • Mobile Anwendung als Range-Extender für E-Fahrzeuge 	<ul style="list-style-type: none"> • Unkomplizierte Handhabung • Große Reichweite aufgrund hoher Speicherdichte • Hohe Sicherheitsvorschriften aufgrund korrosiver und giftiger Eigenschaften von Methanol • Geringer elektrischer Wirkungsgrad • Entstehung von CO₂
Alkalische Brennstoffzelle AFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Wasserstoff und Sauerstoff • Elektrolyt: Kalilauge • Niedertemperatur • Leistungsbereich bis 100 kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Anwendung in der Raumfahrt und bei U-Booten 	<ul style="list-style-type: none"> • Niedrige Lebensdauer • Geringere Leistungsdichte als PEMFC
Phosphorsäure-Brennstoffzelle PAFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Wasserstoff, Erd-, Biogas und Luftsauerstoff • Elektrolyt: Phosphorsäure • Mitteltemperatur • Leistungsbereich bis 10 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Eignung eher zur Wärme- als zur Stromproduktion • Stationäre Anwendung in der Kraft-Wärme-Kopplung 	<ul style="list-style-type: none"> • Eignung für Nutzung mit Erdgas • Geringe Lebensdauer
Schmelzcarbonat-Brennstoffzelle MCFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Erd-, Kohle-, Biogas und Luftsauerstoff • Elektrolyt: Alkalicarbonatschmelzen • Hochtemperatur • Leistungsbereich bis 100 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeproduktion • Eignung für den Grundlastbetrieb in (Heiz-)Kraftwerken 	<ul style="list-style-type: none"> • Direkte Nutzung der Gase ohne Reformierung • Zusätzlicher technologischer Systemaufwand aufgrund internem Kohlenstoffdioxid-Kreislauf
Oxidkeramische Brennstoffzelle SOFC	<ul style="list-style-type: none"> • Gase: Erd-, Kohle-, Biogas und Luftsauerstoff • Elektrolyt: Yttriumstabilisiertes Zirkonoxid • Hochtemperatur • Leistungsbereich bis 100 MW 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeproduktion durch Nutzung und Auskopplung von Prozesswärme • Eignung (Heiz-)Kraftwerke, Wohnhäusern, in Kombination mit Gasturbinen auch für Blockheizkraftwerke und Großanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Im Gegensatz zu MCFC einfaches System, hohe Lebensdauer und hohe Wirkungsgrade



Sicherheit und Wasserstoff

GEFAHRENLAGEN

- Grundsätzliche Gefahren
- a) Wasserstoffexplosion:
 - Explosionsgefahr ab einer Wasserstoffkonzentration von 18 Prozent in der Luft unter atmosphärischem Druck
 - Bei mehr als 75 prozentiger Wasserstoffkonzentration keine Explosion/Entzündung aufgrund von Sauerstoffmangels mehr möglich
- b) Wasserstoffversprödung:
 - Korrosion von Material durch Eindringen von (ionisiertem) Wasserstoff
 - Gefährdet Rohre und Pipelines
- Aber: Langjährige Erfahrung im Umgang mit Wasserstoff in der Industrie



SICHERHEIT IN FAHRZEUGEN

- Im Fahrzeug getrennte Speicherung von Wasserstoff und Sauerstoff in druckfesten Tanks
- Freisetzung größerer Mengen von Wasserstoff möglich bei einem schweren Totalschaden
- Bei Unfällen Gefahr durch Brandteppiche durch Auslaufen flüssigen Wasserstoffs
- Bei Fahrzeugbrand Ableitung des Wasserstoffs zur Verhinderung von Explosionen
- In Crashtests des TÜV bislang noch kein Wasserstoff ausgetreten
- In geschlossenen Räumen (Tunnel, Garagen) zusätzliche Belüftung sinnvoll





Antriebssysteme im Vergleich

FOSSILER ANTRIEB

- + Flächendeckende öffentliche Infrastruktur
- + Kurze Betankungszeit
- + Hohe Reichweiten der Fahrzeuge
- + Höchste Energiedichte (kWh/l)
- Erwartete Kostenentwicklung
- CO₂-Emissionen

ELEKTROANTRIEB

- + Öffentliche Infrastruktur im PKW-Bereich vorangeschritten
- + Aus- und Aufbau privater Infrastrukturen vergleichsweise einfach möglich
- + Erwartete Kostenentwicklung
- + Erwartete Verbesserung der Ladetechnik und -zeiten
- + Finanzielle Förderung bei Anschaffung und Aufbau öffentlicher Infrastrukturen und Fahrzeugflotten
- Aktuell geringe Reichweite der Fahrzeuge
- Vglw. geringe Zuladung aufgrund des hohen Eigengewichts der Batterie
- Aktuelle Ladezeit

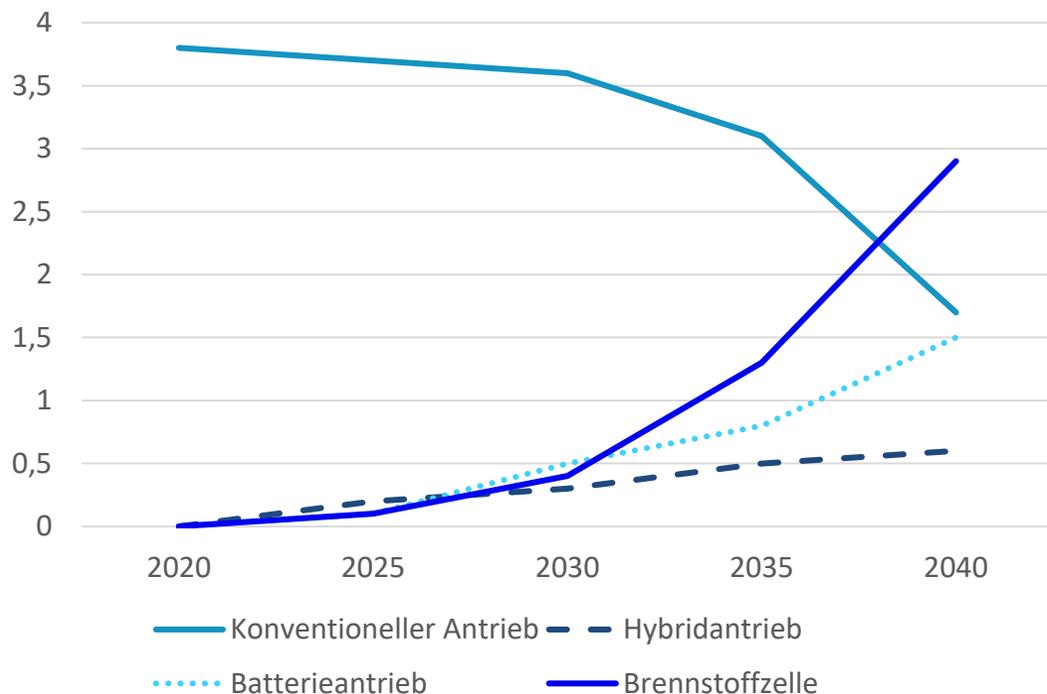
H₂-ANTRIEB

- + Kurze Betankungszeit
- + Erwartete Kostenentwicklung
- + Hohe Reichweiten der Fahrzeuge
- + Hohe Zuladungen möglich
- + Finanzielle Förderung bei Anschaffung und Aufbau öffentlicher Infrastrukturen und Fahrzeugflotten
- + Höhere gewichts- und volumenspezifische Energiedichten als Elektroantriebe
- Öffentliche Infrastruktur noch rudimentär, aber dynamische Entwicklung
- Technologische Herausforderungen bei großen Betankungsmengen
- Vglw. hohe Preise

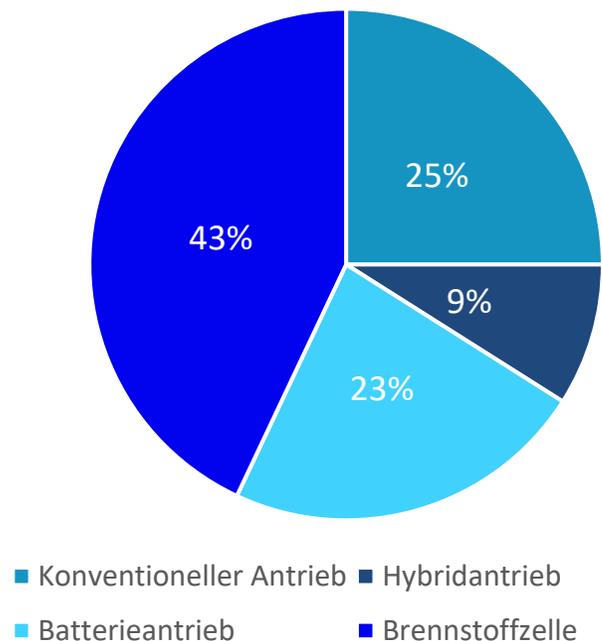


Ökologische Transformation im Automotive Sektor

Prognostizierte Neuzulassungen schwerer Nutzfahrzeuge*



Prognostizierte Anteile der Antriebsarten bei der Neuzulassung schwerer Nutzfahrzeuge**



Prognosen sind mit hohen Unsicherheiten behaftet, denn parallel zum Hochlauf des H₂-Marktes

- entwickelt sich Batterietechnologie und der Ladetechnik kontinuierlich weiter,*
- werden neue Erfahrungswerte zur Halt- und Nutzbarkeit von Batterien gesammelt.*

Der technologische Fortschritt führt zu Verschiebungen bei Kosten-Nutzen-Rechnungen. Ob sich eine dominante Antriebs-technologie durchsetzt und welche das sein wird, ist noch nicht entschieden.

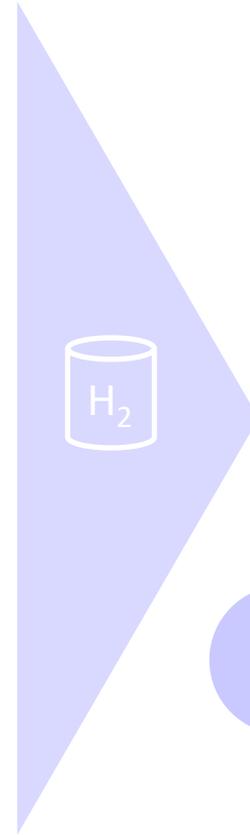
*Weltweit, nach Antriebsarten, in Mio. Einheiten

**Weltweit, in Prozent, im Jahr 2040



Wann lohnt sich der Einsatz von H₂-Antrieben besonders?

- Im **Schwerlastverkehr**, da im Vergleich zum Eigengewicht zu batteriebetriebenen Fahrzeugen geringere Nutzlastverluste
- Im **Fernverkehr** aufgrund der hohen Reichweiten (Strecken über 500 km)
- **Innerhalb Deutschlands und der BeNeLux-Staaten** aufgrund der vglw. zahlreichen verfügbaren H₂-Tankstellen



Einzelfallentscheidung in Abhängigkeit der individuellen Fahrprofile und Strecken



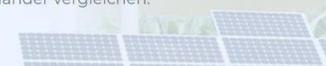
Kann ein Antriebsmix in der eigenen Logistik-Flotte eine mögliche Option sein?

Hilfreich: Vergleichsrechner, z.B. des Institut für Biogas, Kreislaufwirtschaft und Energie

Welche Antriebsart ist die günstigste für Ihren Fuhrpark?

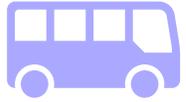
Mit unserem Vergleichsrechner Alternative Antriebe können Sie anfallende Kosten sowie zu erwartende Emissionen von alternativen Antrieben und konventionellen Antrieben miteinander vergleichen.

VERGLEICHRECHNER





Faktoren zur ersten Beurteilung der Eignung von H₂-Antrieben



ÖPNV



Je anspruchsvoller die **Topographie** (z.B. hügeliges Terrain) desto sinnvoller der Einsatz von H₂



Je weiter die **Umlaufdistanzen** desto sinnvoller der Einsatz von H₂



Je enger die **Taktung** der Umläufe desto sinnvoller der Einsatz von H₂ (schnellere Betankung)



Je bequemer eine **H₂-Tankstelle** erreicht werden kann, desto sinnvoller der Einsatz von H₂



Faktoren zur ersten Beurteilung der Eignung von H₂-Antrieben



LASTVERKEHR



Je anspruchsvoller die **Topographie** (z.B. hügeliges Terrain) desto sinnvoller der Einsatz von H₂



Je weiter die **Strecke** desto sinnvoller der Einsatz von H₂



Je höher die **Zuladung** desto sinnvoller der Einsatz von H₂ (Gewicht der Batterie entfällt)

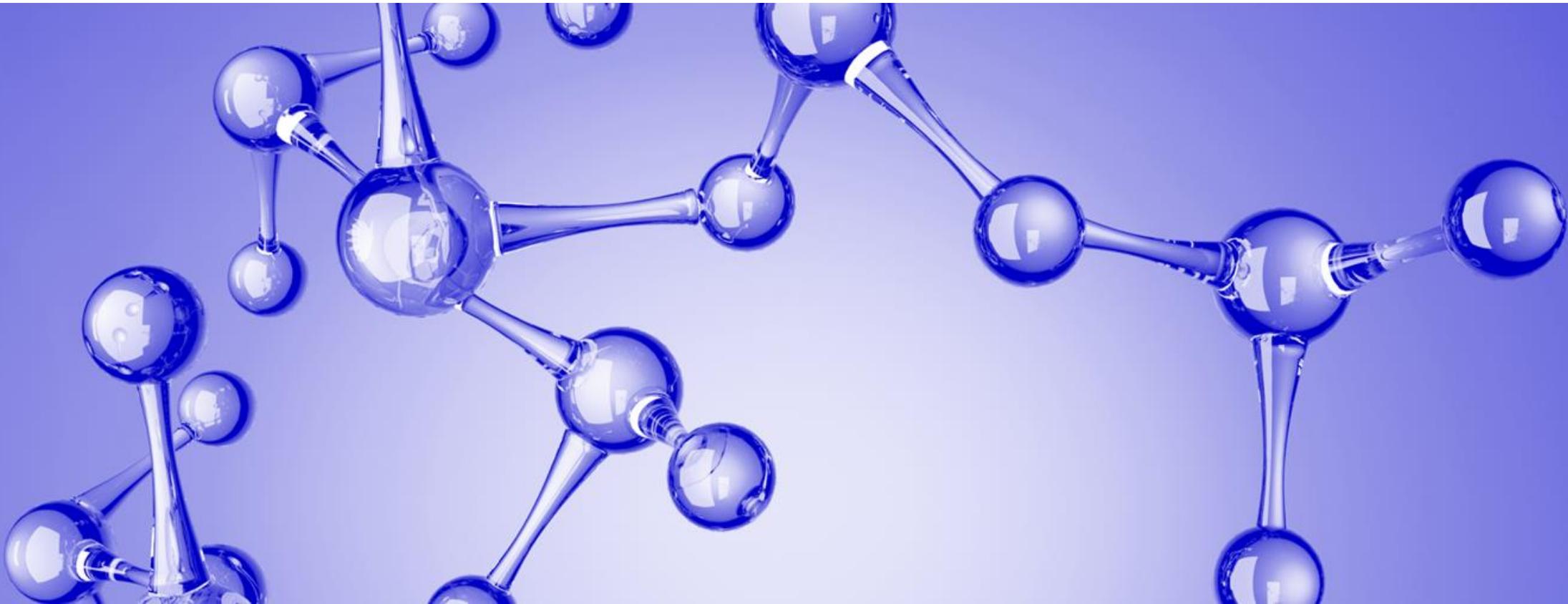


Je einfacher der Zugang zu **H₂-Tankstellen** desto sinnvoller der Einsatz von H₂



WASSERSTOFFMOBILITÄT

Fahrzeughersteller, -modelle und Anwendungsbeispiele





PKW mit Wasserstoffantrieb

FAHRZEUGHERSTELLER/ -MODELLE



Toyota Mirai/ Mirai II



Hyundai Nexo



Hyundai ix35 Fuel Cell



Honda Clarity Fuel Cell



Mercedes-Benz GLC F-CELL

ANWENDUNGSBEISPIELE

PKW mit H₂-Antrieb im gewerblichen Verkehr:
Innerstädtische Taxiflotten

	H ₂ -PKWs seit ...	Mit ...
DEN HAAG	2019	35 Toyota Mirai
KOPENHAGEN	2019	8 Toyota Mirai Ziel: Bis 2025 emissionsfreier Taxibetrieb
PARIS UND ILE DE FRANCE	2019	100 Toyota Mirai; geplante Erweiterung um 500 weitere Toyota Mirai
MADRID	Beginn 2022	Ersatz von 1.000 Verbrenner-Taxen durch Wasserstoff-Taxen bis 2026

Mitarbeitermobilität (z.B. Kundendienstfahrten, Rettungs-/Einsatzfahrzeuge)

	H ₂ -PKWs seit ...	Mit ...
SIEGEN	2019	2 Toyota Mirai
SIEGEN	2021	2 Hyundai Nexo





Leichte Nutzfahrzeuge mit Wasserstoffantrieb

FAHRZEUGHERSTELLER/ -MODELLE



Citroen e-Jumpy Hydrogen



Opel Vivaro-e Hydrogen



Peugeot e-Expert Hydrogen



Renault Master Z.E. Hydrogen



Renault Kangoo Z.E. Hydrogen



Quantron Q-Light

ANWENDUNGSBEISPIELE

78 Prozent

der Handwerksbetriebe setzen auf Fahrzeuge mit Dieselantrieb. Aber: Der Anteil alternativer Antriebe steigt (Stand: 2020).

Brennstoffzellenbasierte LNF

- scheinen noch eine untergeordnete Rolle zu spielen,
- eignen sich für ländliche Regionen und bei entsprechenden Fahrprofilen.

100 LNF



mit Brennstoffzellenantrieb setzt die DHL Gruppe seit 2020 für Auslieferungen auf der letzten Meile ein. Dafür nutzt sie eine eigene Fahrzeugentwicklung.



Schwere Nutzfahrzeuge mit Wasserstoffantrieb

FAHRZEUGHERSTELLER/ -MODELLE



Hyundai XCIENT Fuel Cell

DAIMLER TRUCK

Mercedes GenH2 (Daimler Truck AG)



MAN



Esoro



Quantron Heavy

NIKOLA



Nikola/ Iveco



Scania



Hyzon Motors



clean logistics

Clean Logistics (Umrüster)

ANWENDUNGSBEISPIELE

	H ₂ -LKW ab/ seit	Mit ...	
	...		
FRIEDRICHS-DORF	2022	3 Hyundai Xcient Fuel Cell	
NEUMÜNSTER	2021	20 LKW in einem Verbund	
ALTENRHEIN (SCHWEIZ)	2021	1 Hyundai Xcient Fuel Cell	
WIESBADEN	2021	1 Hyundai Xcient Fuel Cell	
LUZERN/ ZÜRICH (SCHWEIZ)	2020	Hyundai Xcient Fuel Cell	
SCHWEIZ	2020	Hyundai Xcient Fuel Cell	
BONN/ BREDA (NIEDERLANDE)	2021	1 LKW (Pilotprojekt)	
RAHMENVERTRAG ZWISCHEN GP JOULE UND CLEAN LOGISTICS ÜBER 5.000 LKW			



Busse mit Wasserstoffantrieb

FAHRZEUGHERSTELLER/ -MODELLE



Caetano H2.City Gold



Solaris Urbino Hydrogen



Van Hool A330 Fuel Cell



Wright Bus



Clean Logistics HyBatt Bus

ANWENDUNGSBEISPIELE

	H ₂ -Busse ab/ seit ...	Mit ...	
WUPPERTAL	2020	10 Busse (Van Hool A330 FC, Solaris Urbino hydrogen)	
BIELEFELD	2022	4 Busse (Caetano H2.City Gold)	
HAMM	2022/ 2023	30 Busse	
KREIS DÜREN	2021/2022	5 Busse	
LANDKREIS FRIESLAND	2024	5 Busse	 <i>Weser-Ems-Bus</i>



Sonderfahrzeuge mit Wasserstoffantrieb

FAHRZEUGHERSTELLER/ -MODELLE



Bluepower (Umrüstung)



MATERIAL HANDLING

Brennstoffzellen-Stapler



Brennstoffzellen-
Flurförderfahrzeuge



Lösungen für innerbetriebliche
Logistik

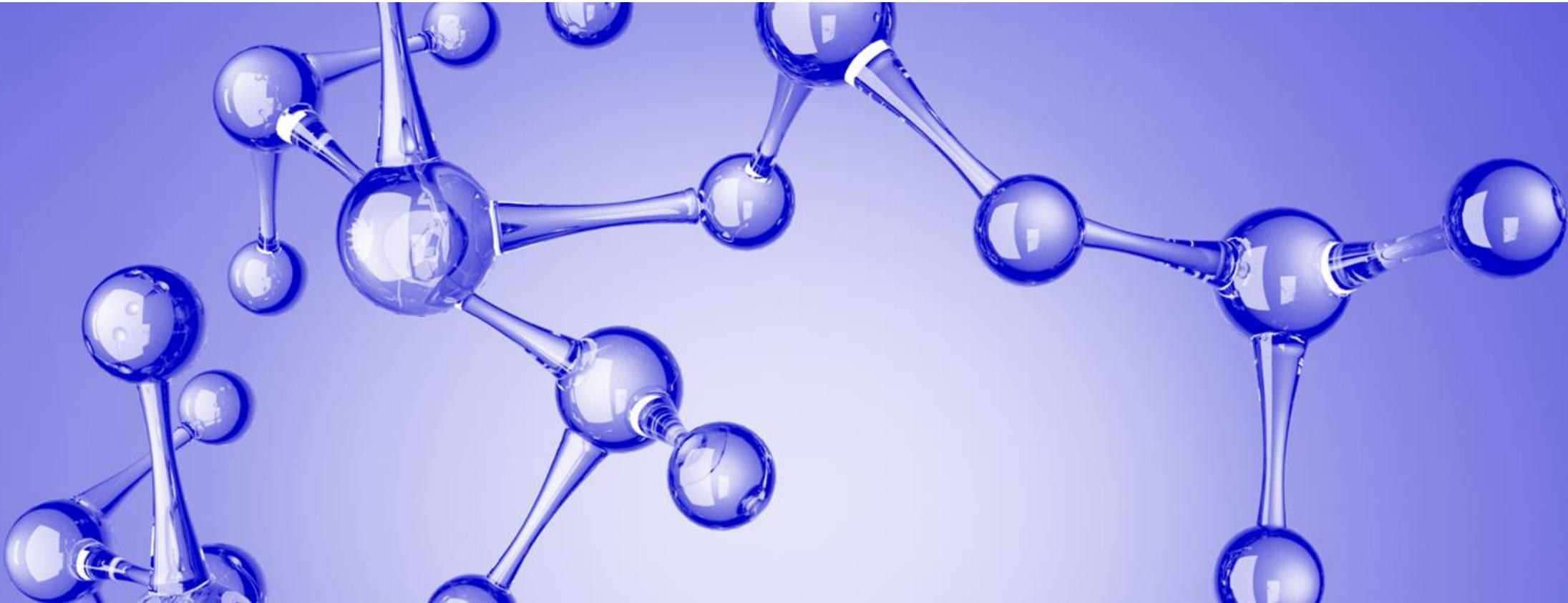
ANWENDUNGSBEISPIELE

		H ₂ -Sonderfahrzeuge ab/ seit ...	Mit ...	
GELSENKIRCHEN	2023	3	Abfallsammelfahrzeuge	
HAMM	2022/ 2023	Bis zu 20	Abfallsammelfahrzeuge	
DUISBURG	2021	1	Abfallsammelfahrzeug	
HERNE	2022	11	Abfallsammelfahrzeuge, 2 Sperrmüllfahrzeuge, 2 Kehrmaschinen	
BMW-WERK IN LEIPZIG	2013	118	Flurförderfahrzeuge	
LIDL IN NANTES (FRANKREICH)	2022	Gesamte innerbetriebliche Logistik (Flurförderfahrzeuge, Hubwagen)		



TANKSTELLENINFRASTRUKTUR

Eine Übersicht





Die Tankstelleninfrastruktur ist der Knackpunkt für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft.

Allerdings:

Die Betankungstechnologie und der Aufbau der Tankstelleninfrastruktur stehen noch vor einigen Hürden.

- Keine Technologieentscheidung bei SNF bedeutet auch eine Vielfalt der Betankungstechnologie. Unterschiedliche Tanksysteme benötigen andere Komponenten.
- Praktische und technische Bereitstellung von großen Mengen (back-to-back-Betankung) befindet sich im Aufbau bzw. in der Entwicklung.
- Betankungsprotokolle (d.h. Vorgaben zum Betankungsprozess, z.B. Durchflussraten) für die Betankung von großen Mengen fehlen.
- Das „Wie“ der Messung der Wasserstoff-Qualität ist ungeklärt.
- Es existieren keine einheitlichen Genehmigungsverfahren, Standards und Prozesse für den Bau und Betrieb von Tankstellen.



Vielfältige Betankungstechnologien im Überblick

**KOMPRIMIERTER GASFÖRMIGER WASSERSTOFF
(CGH₂)
350 BAR**

**SUBCOOLED LIQUID HYDROGEN
(sLH₂)**

**KOMPRIMIERTER GASFÖRMIGER WASSERSTOFF
(CGH₂)
700 BAR**

**KRYOKOMPRIMIERTER WASSERSTOFF
(CcH₂)**



Komprimierter gasförmiger Wasserstoff (CGH₂) 350 bar

STATUS

- Wachsende Infrastruktur
- Standardbetankung 8 kg, kurzfristig verfügbare Erweiterung auf 42,5 kg
- Markt für Nutzfahrzeuge wachsend

ANWENDUNGEN

- Xcient Fuel Cell (Hyundai)
- HyMax 450 (Hyzon Motors)

VORTEILE

- Bewährte und etablierte Technologie
- Verschiedene Anlieferungsoptionen des H₂

SPEZIFIKATIONEN

- Anlieferung: CGH₂, LH₂
- Bestandteile einer Tankstelle: H₂-Speicher, Kompressor/ Kryopumpe, Vorkühlung (bei gasförmiger Anlieferung), Dispenser (Kupplung, Schlauch)
- Bevorratung möglich via Trailer, Pipeline oder stationär
- Erweiterbarkeit auf 700-Bar-PKW aufwendig und kostspielig aufgrund höheren Speicherdrucks und Kühlbedarfs
- Fahrzeugtank-Temperatur: -40 bis +85 °C
- Fahrzeug-Speicherkapazität: heute bis zu 42,5 kg, perspektivisch mehr als 42,5 kg

NACHTEILE

- Geringe volumetrische Energiedichte (0,8 kWh/l)
- Limitierte Reichweite
- Datenkommunikation zwischen Tankstelle und Fahrzeug notwendig



Komprimierter gasförmiger Wasserstoff (CGH₂) 700 bar

STATUS

- Bestehende Betankungstechnologie und Protokolle für PKW und Nutzfahrzeuge (z.B. Abfallsammelfahrzeuge)
- Validierung von Wasserstofftankstellen und Fahrzeugtanks für schwere Nutzfahrzeuge
- Betankungsprotokolle für hohe Durchflussraten und geringe Betankungszeit (10-15 Min.) in Entwicklung

ANWENDUNGEN

- Nikola TRE (Nikola Motors & Iveco)

VORTEILE

- Höchste Reichweite möglich
- Bestehende Betankungsprotokolle für Fahrzeugtanks mit Fassungsvermögen > 10 kg
- Verschiedene Anlieferungsoptionen
- Weltweiter Betankungsstandard verfügbar

SPEZIFIKATIONEN

- Volumetrische Energiedichte: 1,3 kWh/l
- Anlieferung: CGH₂, LH₂
- Bestandteile einer Tankstelle: H₂-Speicher, Kompressor/Kryopumpe, Hochdruckspeicher, Dispenser (Tankstutzen, Schlauch)
- Bevorratung möglich via Trailer, Pipeline oder stationär
- Fahrzeugtank-Temperatur: -40 bis +85 °C
- Fahrzeug-Speicherkapazität: perspektivisch bis zu 100 kg

NACHTEILE

- Hoher Materialbedarf und kostspielige Komponenten
- Intensive Kompressor- und Kühlleistung (hoher Energiebedarf)
- Datenkommunikation zwischen Tankstelle und Fahrzeug notwendig



Subcooled Liquid Hydrogen (sLH₂) (tiefkalter Flüssigwasserstoff)

STATUS

- Weiterentwicklung der LH₂-Technologie
- Wasserstofftankstelle und Fahrzeugtank in der Entwicklungsphase

ANWENDUNGEN

- GenH₂-Truck (Daimler Truck AG)
(Serienproduktion voraussichtlich ab 2027)

VORTEILE

- Höchste mögliche Reichweite für MNF/ SNF
- (potenziell) niedrigste Kosten für den Fahrzeugtank
- Wahrscheinlich keine Datenkommunikation erforderlich
- Tankstelle mit geringerem Platz- und Energiebedarf

SPEZIFIKATIONEN

- Volumetrische Energiedichte: 2,2 kWh/l
- Anlieferung: LH₂
- Bestandteile einer Tankstelle: LH₂-Speicher, sLH₂-Pumpe, Dispenser (Tankstutzen, Schlauch)
- Bevorratung möglich via Trailer oder stationär
- Erweiterbarkeit auf 700-Bar-PKW aufwendig und kostspielig aufgrund zusätzlichem Hochdruck-Kryopumpensystem, einer Düse, eines Schlauchs usw.
- Fahrzeugtank-Temperatur: -248 bis -245 °C
- Fahrzeug-Speicherkapazität: mehr als 80 kg

NACHTEILE

- Wasserstoffverluste (Boil-Off) bei längeren Standzeiten
- Beschränkte Anlieferungsoptionen
- Keine Synergien mit CGH₂-Infrastruktur
- Noch im frühen Entwicklungsstadium (Tankstellen- und Fahrzeugtechnik)



Kryokomprimierter Wasserstoff (CcH₂)

STATUS

- Weiterentwicklung der LH₂-Technologie
- Pilotprojekte und erste Daten für PKWs vorhanden
- Fahrzeugtank und Wasserstofftankstelle für schwere Nutzfahrzeuge in der Entwicklungsphase

ANWENDUNGEN

- Voraussichtlich 2022/2023 bekannt gegeben

VORTEILE

- Höchste volumetrische Dichte im Tank
- (potenziell) leichteres Tanksystem als bei CGH₂ (350/700 Bar)
- Keine Datenkommunikation erforderlich

SPEZIFIKATIONEN

- Volumetrische Energiedichte: 2,4 kWh/l
- Anlieferung: LH₂, CGH₂ möglich
- Bestandteile einer Tankstelle: LH₂-Speicher, Kryopumpe, Dispenser (Tankstutzen, Schlauch)
- Bevorratung möglich via Trailer oder stationär
- Erweiterbarkeit auf 700-Bar-PKW aufwendig und kostspielig aufgrund zusätzlichem Hochdruck-Kryopumpensystem, einer Düse, eines Schlauchs usw.
- Fahrzeugtank-Temperatur: -240 bis -150 °C
- Fahrzeug-Speicherkapazität: mehr als 80 kg

NACHTEILE

- Hoher Materialbedarf (hoher Druck, niedrige Temperaturen)
- Beschränkte Anlieferungsoptionen
- Frühes Entwicklungsstadium



Reifegrad der H₂-Betankungstechnologien

LIEFERKETTE

- Transport und Anlieferung von gasförmigen und flüssigem Wasserstoff etabliert
- Herausforderungen: Verfügbarkeit und Lieferung großer Mengen pro Tag
- Anlieferoptionen: Trailer oder Pipeline

Trailer

- Speicherdichte in LH₂-Trailern größer als in GH₂-Trailern
- Aktuell begrenzte LH₂-Produktion am Tag (25 t in drei Anlagen)
- Mittelfristig LH₂ wichtige Säule für den Import per See

Pipeline

- Hohe Anfangsinvestitionen bei Neuerschließung
- Umrüstung bestehender Netze technisch möglich
- Langfristig günstigste Transportmöglichkeit

FAHRZEUGTANK

CGH₂ 350 Bar

- Fahrzeugtanksystem für CGH₂ 350 Bar etabliert, bei SNF jedoch Reichweitenbegrenzung und wenig Platz
- Für SNF Notwendigkeit für neue Tankkonfigurationen und Fahrzeugspezifikationen

CGH₂ 700 Bar

- Führung größerer Mengen Wasserstoff im Tank
- Unter bestimmten Voraussetzungen perspektivisch bis zu 1.000 km Reichweiten bei SNF möglich

sLH₂

- Im FuE-Stadium
- Herausforderungen: Betankungsprozess, Thermomanagement, Verluste (Boil Off)

CcH₂

- PKW mit geringen Mengen verfügbar
- Skalierung und Validierung für den Transport höhere Mengen
- Temperatur- und Druckerfordernungen



Reifegrad der H₂-Betankungstechnologien

TANKSTELLE

CGH₂ 350 Bar

- Eingesetzt für Busse und Nutzfahrzeuge
- Infrastruktur und Technologie am weitesten vorangeschritten
- Anpassung an SNF durch Umbau einfach umsetzbar

CGH₂ 700 Bar

- Eingesetzt für PKW
- Aktuell Validierung höherer Durchflussraten, Vorkühlung und Kompressionstechnologie

sLH₂

- Noch keine Demonstration einer PKW-Betankung
- Validierung der Pumpentechnologie
- Technologie für SNF im Entwicklungsstadium

CcH₂

- PKW mit geringen Mengen verfügbar
- Technologische Herausforderungen (z.B. Messtechnik)
- Technologie für SNF im Entwicklungsstadium

NORMEN UND STANDARDS

- Fehlende Standards für große Wasserstoffmengen und hohen Durchflussraten (CGH₂ 350/700 Bar)
- Fehlende Standards für sLH₂ und CcH₂-Technologie aufgrund ihres Entwicklungsstadiums



Überblick über den Reifegrad der H₂-Betankungstechnologien

Reifegrad unterschiedlicher Betankungstechnologien

Reifegrad	Idee/Forschung	Prototype	Validierung	Kommerzialisierung
Lieferkette				LH ₂ CGH ₂
Fahrzeugtanks	CcH ₂ sLH ₂		700 bar CGH ₂	350 bar CGH ₂
Wasserstoff-tankstellen	sLH ₂ CcH ₂		700 bar CGH ₂ 350 bar CGH ₂	
Standards für Wasserstoff-tankstellen	sLH ₂ CcH ₂		700 bar CGH ₂ 350 bar CGH ₂	

H2 Mobility

Viel Erfahrung gibt es bei der Betankung mit Tankstellensystemen, die auf der CGH₂-Technologie basieren und mit 350 bzw. 700 bar betankt werden. Die Tankstelleninfrastruktur befindet sich derzeit im Aufbau.

Die größten technologischen Herausforderungen bestehen aktuell bei der Betankung mit tiefgekühltem (sLH₂) und kryokomprimierten (CcH₂) Wasserstoff. Auch fahrzeugseitig ist der Entwicklungs- und Forschungsbedarf (z.B. Tanks) noch hoch. Die Technologie für tiefgekühlten Wasserstoff wird derzeit von der Daimler Truck AG (Fahrzeuge) und der Linde GmbH (Betankung) vorangetrieben.



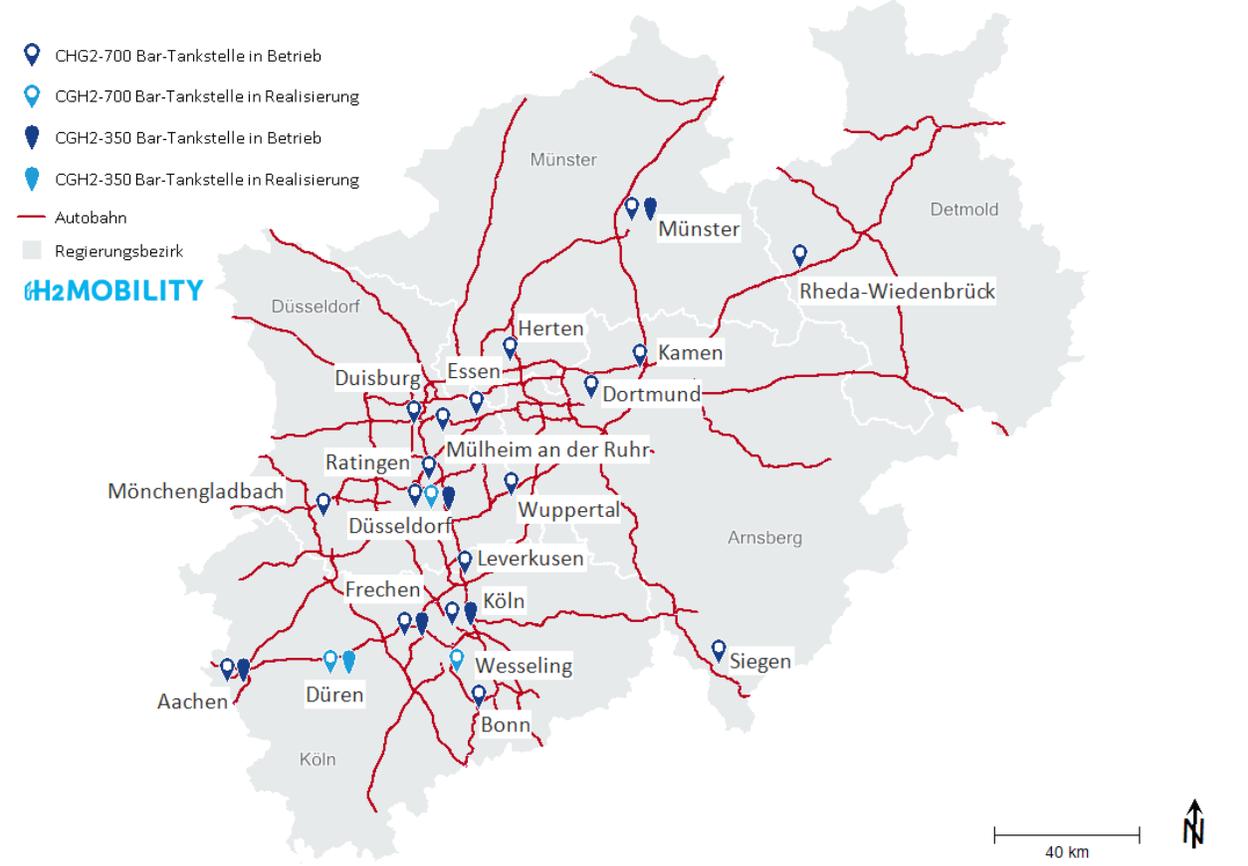
Status Quo der Tankstellen-Infrastruktur

Bis 2030 soll das H2-Mobility-Tankstellennetz auf 300 Tankstationen ausgeweitet werden. An mindestens 200 Tankstellen sollen Nutzfahrzeuge Tankmöglichkeiten vorfinden. Dafür stellen alte und neue Gesellschafter H2 Mobility weitere 110 Mio. Euro zur Verfügung.

Im Regierungsbezirk Arnsberg



In NRW (nur H2 Mobility)





Die NOW GmbH unterstützt beim Infrastrukturaufbau.

Genehmigungsrelevante Faktoren

Lagermenge

Gesamtlagerung weniger als 3 t

- Verfahren nach Betriebssicherheits-verordnung (BetrSichV Abschnitt 3 § 18)
- Erlaubnispflicht mit Baugenehmigung (LV 49 des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik LASI)

Gesamtlagerung zwischen 3 und 30 t

- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchg) Vereinfachtes Verfahren

Ausführung

Eigenständige Liefer-H₂-Gasfüllanlage

Ein Betreiber

- H₂-Lagermenge weniger als 3 t: Erlaubnisverfahren nach BetrSichV und Baugenehmigungsverfahren nach Landesbauordnung
- H₂-Lagermenge mit mind. 3 t: Genehmigungsverfahren nach BImSchG, BetrSichV und Baugenehmigung

Integrierte Liefer-H₂-Gasfüllanlage

Mehrere Betreiber

- Mit Lagermenge weniger als 3 t: Erlaubnisverfahren nach BetrSichV und Baugenehmigungsverfahren nach Landesbauordnung
- Funktionell räumlichen Zusammenhang mit Lagermenge weniger als 3 t: BImSchG, konzentriertes Verfahren mit Prüfung aller Belange



**Genehmigungsleitfaden
Wasserstoff-Tankstellen**

- Gültig für Betankung mit gasförmigen H₂ (CGH₂) und 350 bzw. 700 Bar
- Je nach Bundesland und Kommune sind unterschiedliche bzw. mehrere Genehmigungsbehörden zuständig.



Ein Blick in die Zukunft: Ausbaupläne der EU

Mit dem Green Deal hat sich die EU das Ziel gesetzt, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Um die Treibhausgasemissionen zu reduzieren wurden mit dem Klimapakt „Fit for 55“ Rechtsvorschriften in den Bereichen Klima, Energie, Verkehr überarbeitet und verschärft. Auch die Wasserstoff-Technologie spielt für diese Klima- und Wirtschaftsziele eine wichtige Rolle. Um das bestehende Henne-Ei-Problem zu lösen und die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der Fahrzeug- und Betankungstechnologie mit dem Aufbau entsprechender Infrastrukturen zu parallelisieren wurden auch Ziele für die Wasserstoff-Infrastruktur festgelegt:



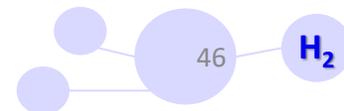
Bis 2030:

- Errichtung einer 700-Bar-Tankmöglichkeit alle 150 km mit einer Mindestkapazität von 2 t/ Tag im [TEN-V-Kernnetz und TEN-V-Gesamtnetz](#)
- Betankungsmöglichkeit mit flüssigem Wasserstoff mind. alle 450 km
- Errichtung einer öffentlich zugänglichen Tankstelle an jedem städtische Knoten
- Grenzüberschreitende Planung, um Netzabdeckung durch Einhalten der Abstände zu gewährleisten
- Auslegung der Tankstellen für LNF und SNF
- Verpflichtende Verfügbarkeit von Flüssigwasserstoff an Tankstellen in Güterterminals

Quelle:

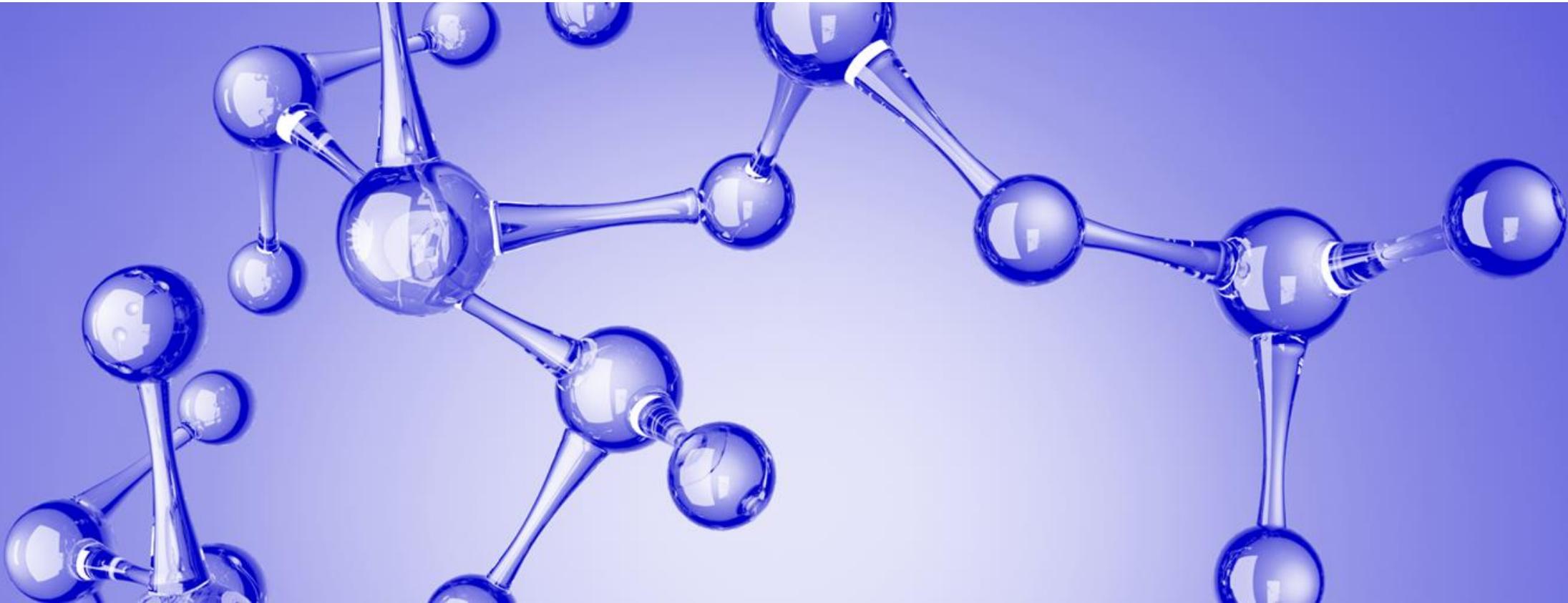
[resource.html \(europa.eu\)](#)

[Der EU-Plan für den grünen Wandel - Consilium \(europa.eu\)](#)





EINSTIEG IN DAS THEMA WASSERSTOFF(MOBILITÄT)

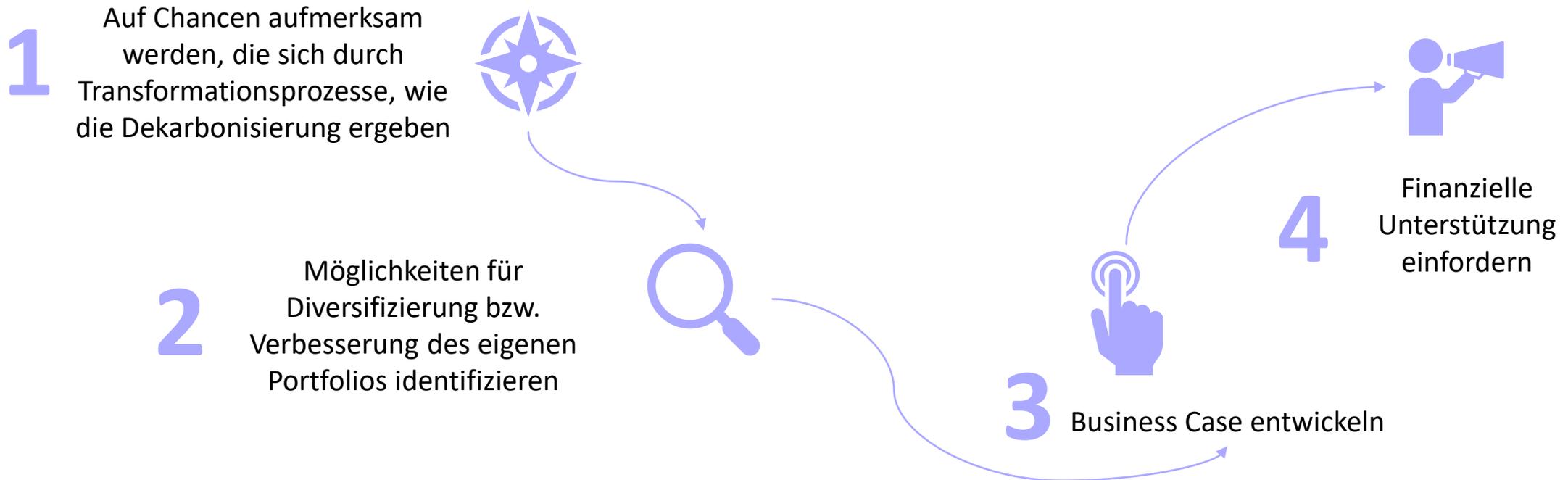




Der Transformationsdruck auf Unternehmen steigt.



Mit der Vorverlegung des Zieles der Klimaneutralität Deutschlands auf das Jahr 2045 hat die Bundesregierung den Druck auf Unternehmen erhöht. Eine strategische Vorbereitung und Begleitung des Dekarbonisierungsprozesses hilft, die richtigen Weichen zu stellen, Chancen zu erkennen und Potenziale zu nutzen. Planen Sie eine Strategie zur Dekarbonisierung oder haben Sie bereits eine (in)formelle Strategie umgesetzt?





Gemeinsam erreicht man mehr.

Da die Dekarbonisierung alle Wirtschafts- und Lebensbereiche betrifft, gibt es vielfältige Möglichkeiten sich mit interessierten Unternehmen und Personen zu vernetzen und Erfahrungen zu teilen. Neben regionalen Initiativen sind es aber auch Branchenverbände, mehr oder weniger lose regional orientierte Netzwerke oder Cluster der Bundesministerien, die nicht nur informieren, sondern auch wichtige Anknüpfungspunkte sind, um gemeinsame Ziele zu entwickeln und geeignete Maßnahmen in Kooperation umzusetzen.



Netzwerke



Branchenverbände



Cluster des Bundes



H₂-Netzwerke

In Netzwerken können sich Unternehmen und Interessierte branchenübergreifend austauschen und zusammenschließen. Zudem sind themengebundene Netzwerke wichtige Informationsquellen für aktuelle Entwicklungen im Bereich Wasserstofftechnologie.

In folgenden Netzwerken sind Unternehmen, Privatpersonen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Kommunen und öffentliche Einrichtungen aus dem Regierungsbezirk Arnsberg bereits Mitglied:



Wasserstoff
Region
Rheinland e.V.



HY. REGION
RHEIN.RUHR



Wasserstoff
Rheinland



Branchenverbände

Branchenverbände informieren, ermöglichen Kooperationen und treten in der Öffentlichkeit für ihre jeweiligen Interessen ein. Im H₂-Kontext befassen sich zahlreiche Verbände mit der Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft.

In folgenden Verbänden sind Unternehmen, Privatpersonen, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Kommunen und öffentliche Einrichtungen aus dem Regierungsbezirk Arnsberg bereits Mitglied:





Cluster des Bundes

In Clustern arbeiten Unternehmen zusammen, um gemeinsame Ziele zu erreichen, wettbewerbsfähige Marktpositionierungen zu erreichen und marktwirtschaftlich tragfähige Lösungen zu entwickeln. Das Bundesministerium fördert eine Reihe von Clustern, um eine ressourcenschonenden Zukunft zu realisieren.



Ohne Bundesförderung



Unternehmen im Regierungsbezirk Arnsberg sind allerdings in den ausgewählten Clusterinitiativen des Bundes nicht vertreten. Eine Ausnahme bildet das Unternehmen KOSTAL Industrie Elektrik GmbH, das im Cluster Clean Power Net (CPN) mitwirkt.



Up-to-date bleiben mit Akteuren in Forschung und Entwicklung

Auch wenn die Erkenntnis, dass durch die Spaltung von Wasserstoff und Sauerstoff Strom erzeugt werden kann, nicht neu ist, so sind die Anwendungsfälle technologisch noch nicht ausgereift und mitunter noch nicht marktfähig. Insbesondere für den Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft ist die Skalierung von Wissen und Anwendungsfällen eine wichtige Voraussetzung. Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen arbeiten zusammen, um mittels Fachkräfte, Grundlagenforschung und Anwendungsfällen zur Dekarbonisierung beizutragen.



Hochschulen



Forschungseinrichtungen



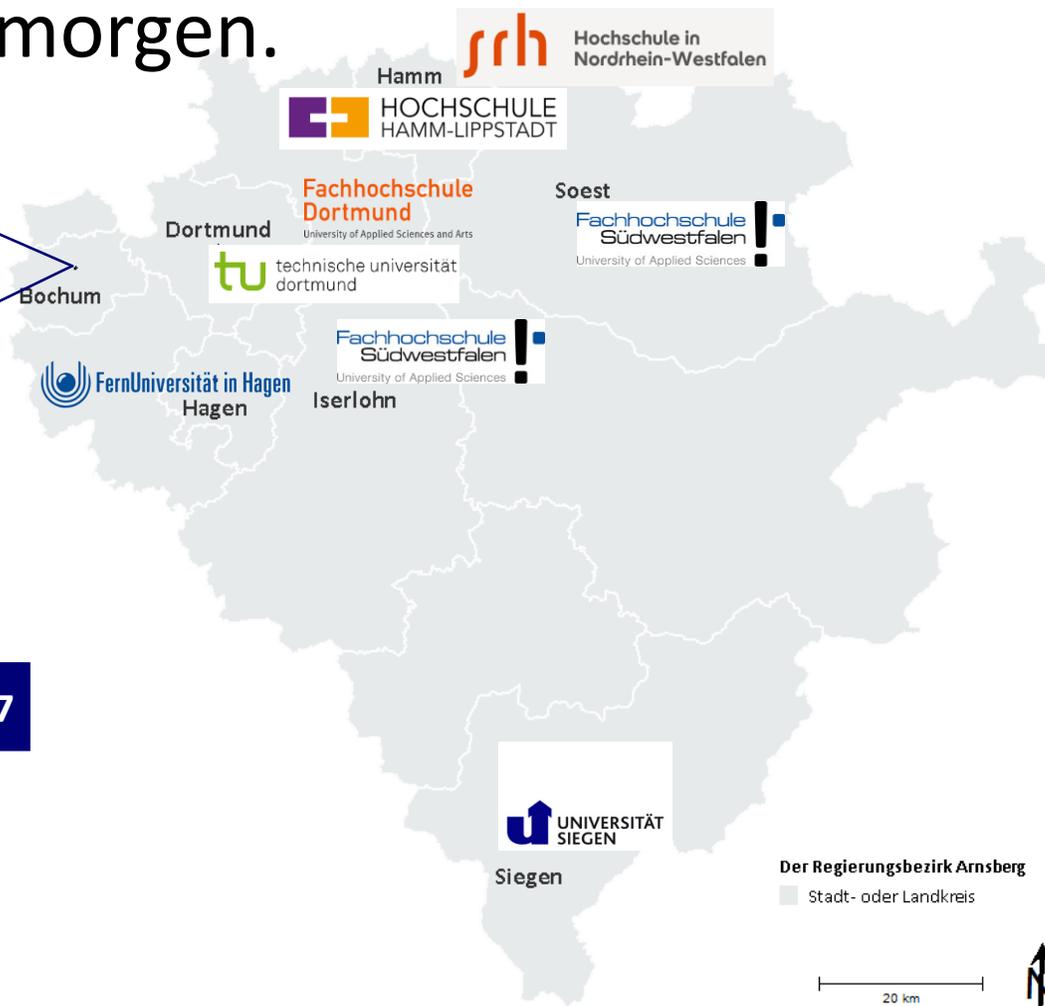
Leitprojekte des Bundes



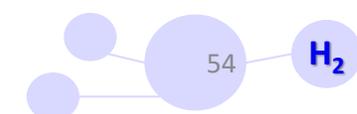
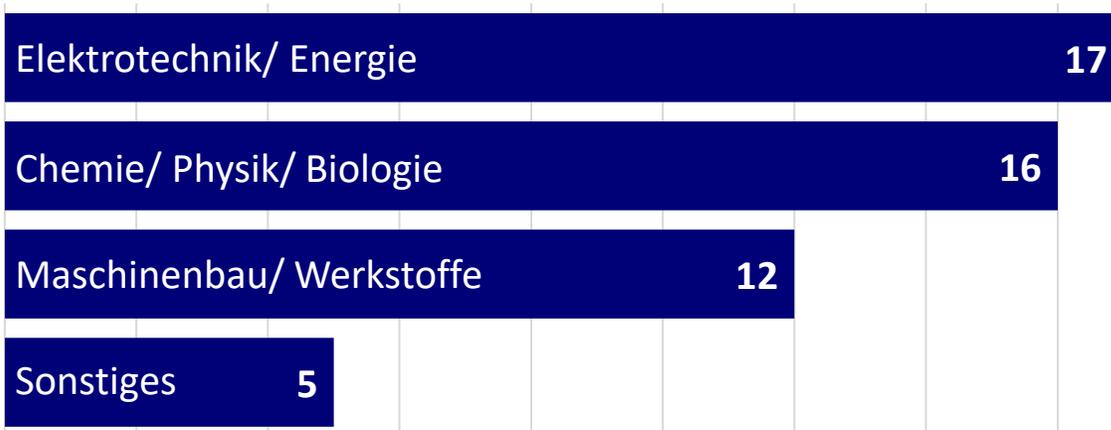
IPCEI-Projekte



Hochschulen bauen die notwendige Expertise auf und entwickeln heute Lösungen für morgen.



Thematische Forschungsfelder nach Anzahl der Professuren/
Lehrstühle





Forschungseinrichtungen sind Ansprechpartner für FuE-Projekte und wichtige Multiplikatoren für Wissen am aktuellen Rand.



Weitere ausgewählte FuE-Einrichtungen in NRW



Der Regierungsbezirk Arnsberg
■ Stadt- oder Landkreis





Wasserstoff-Leitprojekte bereiten den Einstieg Deutschlands in die Wasserstoffwirtschaft.



Um die Wertschöpfungspotenziale, die sich aus Technologien zur Erzeugung, Transport und Nutzung grünen Wasserstoffs ergeben fördert das BMBF drei Großprojekte. Diese wurden im Rahmen eines Ideenwettbewerbs ausgewählt:

H₂Giga

Serienfertigung von H₂-Elektrolyseuren

H₂Mare

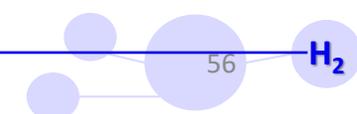
Produktion von H₂ auf See

TransHyDE

Entwicklung einer H₂-Transportinfrastruktur

Auch Unternehmen aus dem Regierungsbezirk Arnsberg nehmen beim Hochlauf der Wasserstoffwirtschaft eine Vorreiterrolle ein:

Unternehmen	Ort	Beteiligt in ...	Leitprojekt
THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS	Dortmund	PtX-Wind	H ₂ Mare
IBG AUTOMATION	Neuenrade	FertiRob	H ₂ Giga
RIF INSTITUT FÜR FORSCHUNG UND TRANSFER E.V. – ABTEILUNG PRODUKTIONSAUTOMATISIERUNG	Dortmund	FertiRob	H ₂ Giga
THYSSENKRUPP UHDE CHLORINE ENGINEERS GMBH	Dortmund	INSTALL-AWE, Prometh2eus	H ₂ Giga
VEREIN ZUR FÖRDERUNG INNOVATIVER VERFAHREN IN DER LOGISTIK, VVL E.V. - INSTITUT FÜR VERPACKUNGSTECHNIK (IFV)	Dortmund	INSTALL-AWE	H ₂ Giga
WEW GMBH	Dortmund	StaR	H ₂ Giga
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM - FAKULTÄT FÜR CHEMIE UND BIOCHEMIE	Bochum	DERIEL	H ₂ Giga
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM - FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU / LEHRSTUHL FÜR PRODUKTIONSSYSTEME	Bochum	FertiRob, HyPLANT100	H ₂ Giga





Ein schneller H₂-Hochlauf braucht europäische Ziele.

Der Markthochlauf in Deutschland und Europa soll durch internationale Forschungs- und Anwendungsprojekte unterstützt werden. Im Rahmen der „Important Projects of Common European Interest“ (IPCEI) intensivieren Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen die Entwicklung von Wasserstofftechnologien und –systemen. Durch die Zusammenarbeit innerhalb Europas werden zentrale Impulse für den EU-Binnenmarkt gesetzt und die Wettbewerbsfähigkeit Europas auf globaler Ebene gestärkt.

62 Wasserstoff-Großprojekte werden mit deutscher Beteiligung durch das Bundeswirtschafts- (50 Vorhaben) und Bundesverkehrsministerium (12 Vorhaben) gefördert. Im Mobilitätssektor wird die Entwicklung und Herstellung von Brennstoffzellensystemen in Fahrzeugen und Tankinfrastruktur adressiert. Die ausgewählten Projekten reichen aber auch in die Luft- und Schifffahrt.





Die Förderung auf europäischer Ebene schreitet voran.

Im Juli 2022 wurden im Rahmen des „IPCEI Wasserstoff“ weitere 41 Projekte in Europa gefördert. Diese Projekte fokussieren die Entwicklung von Technologien zur Erzeugung, zum Transport und zum Einsatz von Wasserstoff vorrangig im Mobilitätssektor. Auch vier Projekte aus Deutschland haben einen Zuschlag erhalten (siehe rechts). Genehmigungen für weitere Industrieprojekte werden im Herbst 2022 erwartet. Zudem wirbt Deutschland für die weitere Förderung von Infrastruktur und Mobilitätsanwendungen bei der Europäischen Kommission.

Bosch Power Units / Bosch

- Erforschung stationärer Brennstoffzellen-Systeme auf Festoxid-Basis zur Erzeugung von Strom und Wärme
- Standorte: Baden-Württemberg, Bayern, Saarland

Sunfire1500 / Sunfire GmbH

- Aufbau einer Produktionslandschaft für die Serienfertigung von Elektrolyseuren auf Basis der Alkali- und Hochtemperaturtechnologie
Standorte: Sachsen, NRW

Pegasus/ Daimler Truck AG

- Test von auf Brennstoffzellen basierend Antriebssträngen von Zugmaschinen/ Anhängerkombinationen im grenzüberschreitenden Güterverkehr

NextGen HD Stack/ EXKPO Fuel Cell Technologies

- Entwicklung von Stackmodulen für den Einsatz in Nutzfahrzeugen, Bussen, Schiffen, Bahn und zur stationären Stromerzeugung



Viele weitere Player sind Teil eines überregionalen Wasserstoff-Ökosystems in NRW.

Herten



Oberhausen



Wuppertal



Münster



Essen



Köln/ Hürth / Brühl / Rhein-Sieg Kreis, Rheinisch-Bergischer Kreis



Aachen



Düsseldorf/ Duisburg/ Wuppertal/ Rhein-Kreis Neuss



Duisburg





Der Bund unterstützt beim Einstieg.

LOTSENSTELLE WASSERSTOFF

Ganzheitliche Beratung zu Fördermöglichkeiten entlang der gesamten H₂-Wertschöpfungskette



Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie Phase II (NIP) – Maßnahmen der Marktaktivierung – Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität

- Anschaffung von Brennstoffzellen-Fahrzeuge (Bezuschussung der Investitionsmehrausgaben)
- Errichtung von Wartungs- und Betankungsinfrastruktur
- Sonderfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb
- Brennstoffzellenbasierte autarke Stromversorgung und KWK-Anlagen
- Betrieb von Elektrolyseanlagen
- Umweltstudien



AUSGEWÄHLTE PROGRAMME

Förderprogramm für klimaschonende Nutzfahrzeuge und Infrastruktur

- Neuanschaffung von Fahrzeugen (80 % der Investitionsmehrausgaben)
- Umrüstung von Fahrzeugen
- Errichtung/ Erweiterung der Tankinfrastruktur
- Machbarkeitsstudien



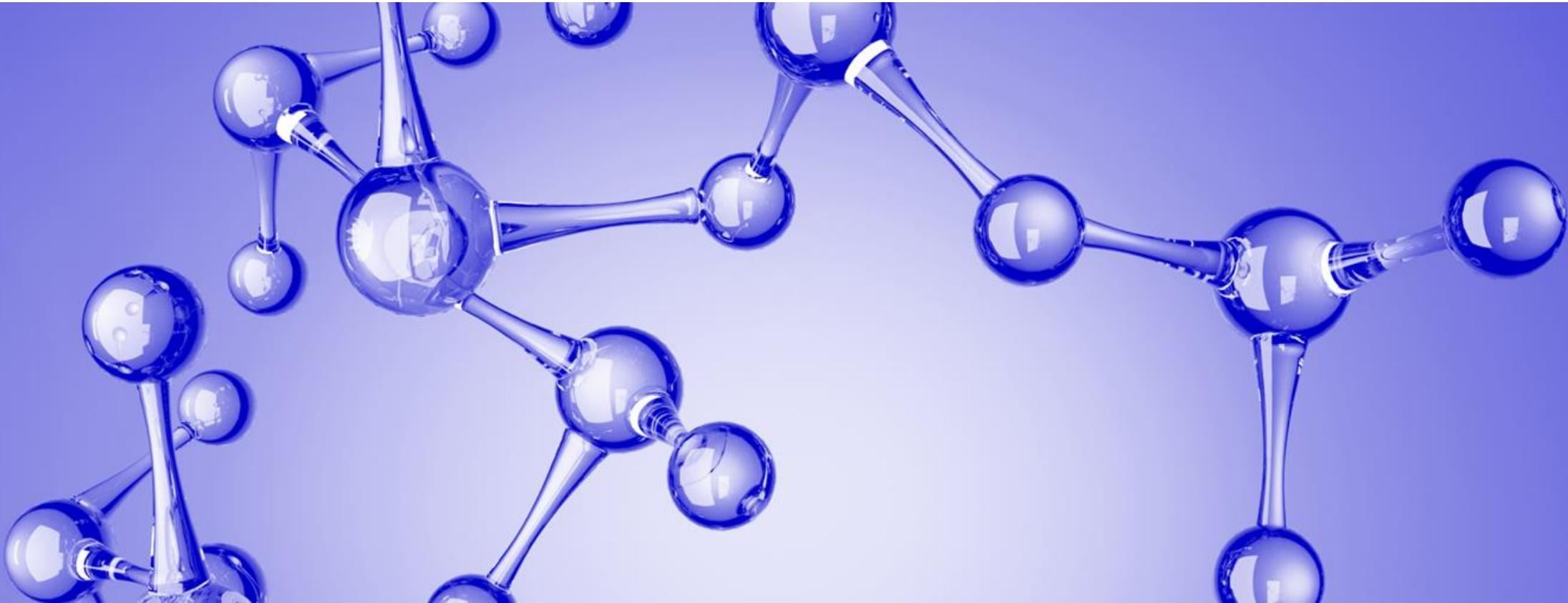
Klimaschutzoffensive für den Mittelstand
Modul F: Nachhaltige Mobilität



Kreditbasierte Investitionsförderung in emissionsarme Fahrzeuge und Schiffe sowie Infrastruktur



TRIMODALE WASSERSTOFFMOBILITÄT





H₂ in der Schifffahrt

8 Prozent

beträgt Anteil der Binnenschifffahrt an den Treibhausgasemissionen der nationalen Schifffahrt insgesamt.

E-Kraftstoffe (H₂, LOHC, E-Methanol, E-LNG)

mit geringeren volumetrischen Energiedichten als Diesel erfordern eine Anpassung der Nutzungsprofile/ Betankungen und/ oder des Schiffsdesigns.

Zwischen Anwendung und Forschung

befinden sich derzeit viele Projekte in der Binnenschifffahrt.

Personen- und Autofähre in Norwegen

- Entwickelt von Norled, LMG Marin und Westcon Power & Automation
- Nutzung von Flüssigwasserstoff
- CO₂-Reduktion: 600.000 t p.a.
- Fährverbindung in Rogaland/ Norwegen seit 2021
- Transportkapazität: 299 Passagiere und 80 Fahrzeuge



Fahrgastschiff FCS Alsterwasser in Hamburg

- Betrieb zwischen 2008 und 2013
- Einstellung des Betriebs wegen Stilllegung der Betankungsstation aufgrund mangelnder Wirtschaftlichkeit



ELEKTRA

- Emissionsfreies Schubboot
- Reichweite 400 km mit 750 kg H₂ und Batteriekapazität i. H. v. 2.500 kWh an Bord
- Erprobungsphase im Berliner Westhafen seit Ende 2021



Die Häfen wandeln sich.

Vom Stück-/Schüttguttransporteur werden die Binnenhäfen zu Drehscheiben für Energie bzw. alternativer Energieträger.

- Modernisierung, Erneuerung und Erweiterung der Seewege zur Erhöhung der Transportleistung
- Modernisierung, Erneuerung und Erweiterung der Häfen und ihrer Infrastrukturen, um Energie zu verladen und zu verschiffen
- Aufbau von Energieerzeugungskapazitäten bzw. Energieumwandlung auf dem Hafengelände bzw. in direkter Hafennähe
- Anschluss der Häfen an Verteilnetze
- Dekarbonisierung der Hafeninfrastruktur



EU-Projekt RH₂INE

- Aufbau eines europäischen Korridors für die wasserstoffbasierte Schifffahrt zwischen Rotterdam, Amsterdam, Duisburg, Düsseldorf, Neuss und Köln
- Entwicklung der notwendigen Rahmenbedingungen und Infrastrukturen

EU-Projekt CAMPFIRE

- Aufbau von Herstellungskapazitäten für grünen Ammoniak aus Erneuerbaren Energien an der Ostsee
- Aufbau eines Grünen Ammoniak-Ökosystem in Industrie, Logistik und Schifffahrt

Trimodale Wasserstofftankstelle

- Machbarkeitsprüfung für den Bau einer H₂-Tankstelle am Hafen Gelsenkirchen zur Dekarbonisierung des Güterumschlags



Entwicklungen in der Binnenschifffahrt vor Ort

Hafen Hamm

- Charakterisierung
 - Kleiner Hafen gemessen am wasserseitigen Warenumsatz (weniger als 3 Mio. t p.a.)
 - Hauptumschlaggüter: Mineralöle, Ölsaaten, Dünge- und Futtermittel
 - Trimodal: Anbindung zu Wasser, Straße und Schiene
 - Überwiegend Wohnfläche angrenzend
- Energieumfeld
 - PV-Potenzial: 248 MW
 - Windkraft-Potenzial: 0 MW
 - Entfernung Gasleitung: 883 m
 - Entfernung Wasserstoffleitung: > 15 km

Maßnahmen im Bereich Energiewende/ Wasserstoff

- nicht bekannt



Entwicklungen in der Binnenschifffahrt vor Ort

Hafen Dortmund

- Charakterisierung
 - Kleiner Hafen gemessen am wasserseitigen Warenumsatz (weniger als 3 Mio. t p.a.)
 - Hauptumschlaggüter: Container, Baustoffe, Mineralöle, Eisen, Stahl
 - Trimodal: Anbindung zu Wasser, Straße und Schiene
 - Wohn- und Gewerbefläche angrenzend
- Energieumfeld
 - PV-Potenzial: 189 MW
 - Windkraft-Potenzial: 28 MW
 - Entfernung Gasleitung: 11 m
 - Entfernung Wasserstoffleitung: 9,4 km

Maßnahmen im Bereich Energiewende/ Wasserstoff

- Errichtung des Kompetenz- und Technologiezentrums „CleanPort Dortmund“
- Förderung von der Entwicklung und Anwendung sauberer Technologien in den Bereichen Energie, Rohstoff, Materialien, Werkstoffe, Verfahren, Bodenverbesserung, Recycling u.w.
- Im Fokus:
 - Ansiedlung von neuen Unternehmen
 - Förderung von Kooperationen zwischen jungen und Bestandsunternehmen
 - Setzen von Innovationsimpulsen
- Beispiel: Innovative Energieverwertung durch E.ON, Deutsche Gasrußwerke, Coldstore und Stadt Dortmund
 - Durch Wärmerückgewinnung in der Reifenproduktion Umwandlung überschüssige Energie in Netzenergie
 - Nutzung der überschüssigen Energie für ein benachbartes Tiefkühlager



Entwicklungen in der Binnenschifffahrt vor Ort

Hafen Duisburg

- Charakterisierung
 - Großer Hafen gemessen am wasserseitigen Warenumsatz (mehr als 3 Mio. t p.a.)
 - Hauptumschlaggüter: Container, Schütt-, Stück- und Flüssiggut
 - Trimodal: Anbindung zu Wasser, Straße und Schiene
 - Wohn- und Gewerbefläche angrenzend
- Energieumfeld
 - PV-Potenzial: 279 MW
 - Windkraft-Potenzial: 0 MW
 - Entfernung Gasleitung: 1.945 m
 - Entfernung Wasserstoffleitung: 11,2 km

Maßnahmen im Bereich Energiewende/ Wasserstoff

- Bau eines Bildungszentrums für die Wasserstofftechnologie auf dem Hafengelände bis Ende 2024
- Projekt enerPort II: Bau des ersten klimaneutralen Containerterminals in Europa auf Basis von Wasserstoff und Erneuerbaren Energien
 - Sektorenkopplung im Energiesystem
 - Errichtung eines Elektrolyseurs
 - Errichtung einer Wasserstofftankstelle
 - Betrieb eines klimaneutralen Containerterminals



Entwicklungen in der Binnenschifffahrt vor Ort

Hafenverbund DeltaPort

- 3 Standorte: Hafen Emmelsum/ Voerde, Rhein-Lippe-Hafen Wesel, Stadthafen Wesel
- Charakterisierung
 - Großer Hafen gemessen am wasserseitigen Warenumsatz (mehr als 3 Mio. t p.a.)
 - Hauptumschlaggüter: Mineralöle, Container, Schüttgüter
 - Trimodal: Anbindung zu Wasser, Straße und Schiene
 - Wohn- und Gewerbefläche angrenzend
- Energieumfeld
 - PV-Potenzial: 120 MW
 - Windkraft-Potenzial: 2 MW
 - Entfernung Gasleitung: 3.424 m
 - Entfernung Wasserstoffleitung: > 15 km

Maßnahmen im Bereich Energiewende/ Wasserstoff

- Zertifiziert als „EcoPort“
 - Landstromversorgung von Binnenschiffen durch regenerativen Strom aus Wasserkraft
 - Abfallmanagement für Binnenschiffe
 - Nutzung von E-Fahrzeugen in der Hafenmasterei
 - Reduzierung des LKW-Verkehrs durch stärkere Nutzung von Bahn und Schiff
- Projekt „EcoPort 813“
 - Sektorenkopplung mit Partnern E.OM und TRIMET Aluminium
 - Rückgewinnung von Abwärme der Aluminiumindustrie zur Nutzung in Kühlketten und Betrieb eines Elektrolyseurs („H2UB DeltaPort“)
- Projekt „H2UB DeltaPort“
 - Bau und Betrieb eines Elektrolyseurs
 - Nutzung des Wasserstoffs zur Betankung von LKW und Binnenschiffen sowie für ein Blockheizkraftwerk, ggf. Einspeisung ins Netz



H₂ auf der Schiene

40 Prozent

der Strecken in Deutschland können nicht mittels Oberleitung elektrifiziert werden. Dies betrifft besonders Strecken im Regionalverkehr. Hierfür müssen andere Lösungen gefunden werden.

1,2 bis 1,7 Mal mehr CO₂

pro Tonnenkilometer stößt eine Diesellok im Schienenpersonennahverkehr bzw. im Güterverkehr mehr aus als eine E-Lok.

Nischenlösung

Auch wenn sich einige Projekte im Testbetrieb befinden und sogar marktreife Züge existieren, ist es wahrscheinlich, dass der H₂-Antrieb im Schienenverkehr eine Nischenlösung bleibt. Aufgrund der hohen zu transportierenden Mengen an Wasserstoff eignet sich dieser nicht für den Güterverkehr. Strecken im Personenverkehr können effizienter mittels hybrider Lösungen (Oberleitung/ e-Antrieb) elektrifiziert werden.

Mireo Plus H

- Entwickelt von Siemens Mobility
- Präsentiert 2022
- Reichweite: ca. 600 bis 1.000 km
- Höchstgeschwindigkeit: 160 km/h
- Betrieb zwischen Tübingen, Horb, Pforzheim geplant für 2024
- Testbetrieb ab 2023 zwischen Augsburg und Füssen
- Einsparung von 330 Tonnen CO₂ p.a.



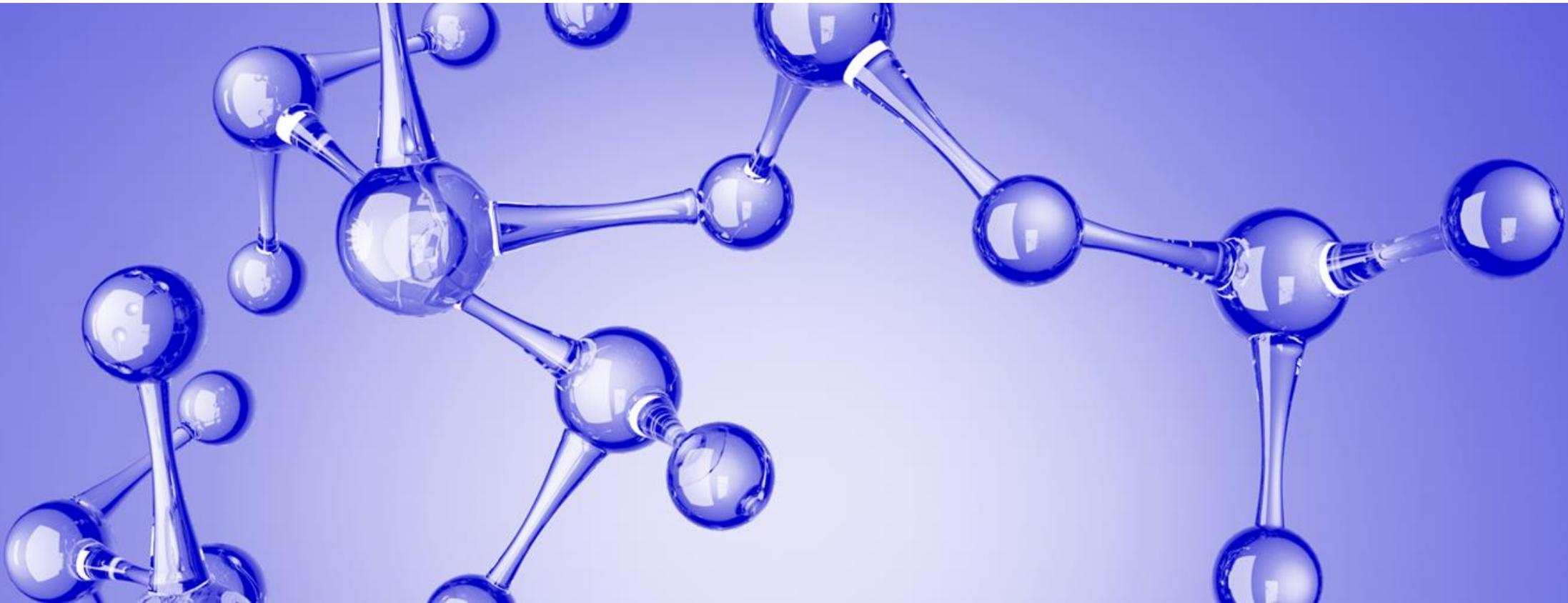
Coradia iLint

- Entwickelt von Alstom
- Probetrieb 2018-2020 im Weser-Elbe-Netz
- Ab 2022 Einsatz von 14 Coradia iLint-Serienzügen im Weser-Elbe-Netz
- Europaweiter Testbetrieb und Rollout





PREISENTWICKLUNGEN





Viele Faktoren beeinflussen die preisliche Wettbewerbsfähigkeit grünen Wasserstoffs.

Investitionskosten (Capex)



Betriebskosten (Opex)



Gaspreise



Strompreise



CO₂-Preise



Kosten für CCS



Transportkosten



H₂-Preis



H₂-Preis vs. Zahlungsbereitschaft

Wie viel ist mir/ uns klimafreundliche Energie wert?

In Zukunft scheinen unterschiedliche Entwicklungspfade möglich:

SENKUNG des Preises für H₂ durch

- Erhöhung des verfügbaren H₂-Angebots
- Skalierung der Elektrolyseleistung
- Verteuerung fossiler Brennstoffe (relative Senkung)
- Reduktion der Investitionskosten infolge der Skalierung der Produktion für technische Komponenten (z.B. Elektrolyseur)
- Erhöhung des Angebots an Erneuerbare Energien

ALLERDINGS

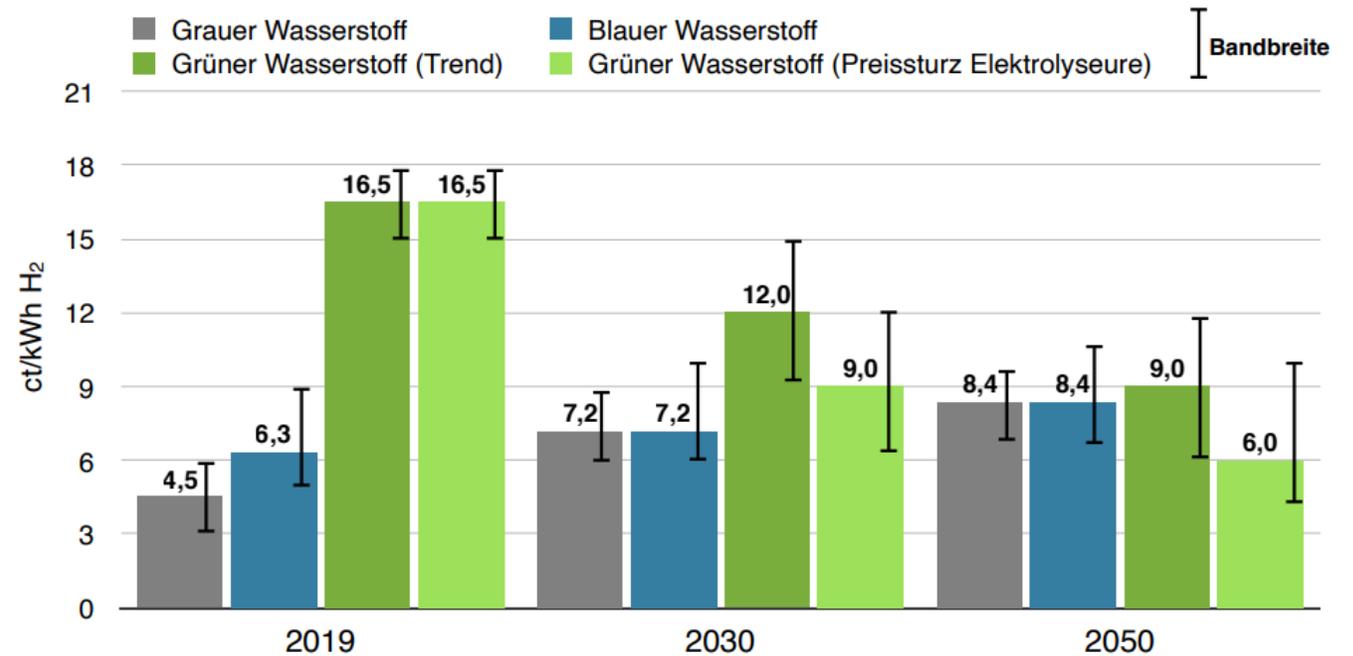
- Mittelfristig steigende Nachfrage nach alternativen Energien und steigende Nachfrage nach H₂
- Steigende Investitionskosten



Grauer H₂ wird sich verteuern, grüner H₂ wird günstiger.

- Grauer Wasserstoff ist in der Produktion heute deutlich günstiger als blauer oder grüner Wasserstoff.
- Durch die zu zahlende und kontinuierliche ansteigende Abgabe für den Ausstoß von CO₂ wird sich grauer Wasserstoff verteuern.
- Allerdings: Der CO₂-Preis von 100 Euro je t wird nicht ausreichen, um grünen Wasserstoff bis 2030 wettbewerbsfähig zu grauen und blauen Wasserstoff zu machen.
- Die Wettbewerbsfähigkeit von grünem Wasserstoff tritt bis 2050 nur ein, wenn Skaleneffekte bei der Produktion von Elektrolyseuren realisiert werden.

Kostentrends bei der Produktion von H₂

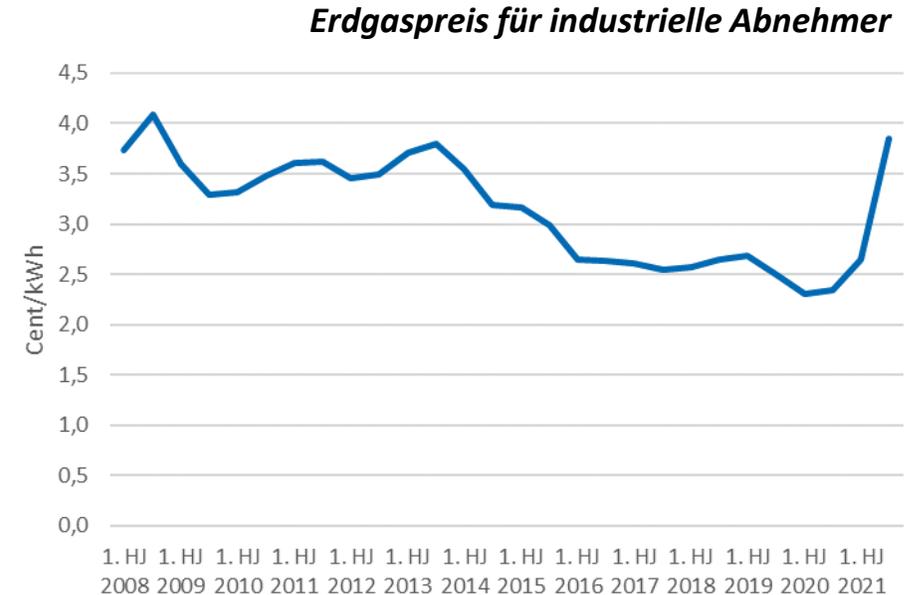


Annahmen: 2030: CO₂-Preis 100 €/t, Erdgaspreis stabil; 2050: wie 2030 plus Carbon Import Tax 100 €/t CO₂; Umrechnung: 1 €/kg H₂ = 3,0 ct/kWh H₂



Steigende Erdgaspreise verändern die Preisdynamik.

- Während in den Jahren 2008 bis 2019 der Gaspreis für die Industrie gesunken ist, ist im Jahr 2021 ein deutlicher Anstieg zu beobachten. Dies hat weniger mit der Pandemie zu tun, sondern viel mehr damit, dass die Nachfrage in den Schwellenländern gestiegen ist und die Erschließung neuer Gasfelder stagnierte.
- Damit grüner Wasserstoff bis 2030 wettbewerbsfähig wird, wäre eine Verteuerung des Gaspreis von 1,57 ct/ kWh (Jahresmittel 2019) auf 3,37 ct/ kWh notwendig. Dies setzt allerdings einen Preisrückgang bei den Elektrolyseurkosten voraus.
- Können Skaleneffekte bei den Elektrolyseuren nicht realisiert werden, wäre ein Gaspreis i.H.v. 6,37 ct/ kWh erforderlich, damit grüner Wasserstoff konkurrieren kann.



Cent/kWh, einschließlich Verbrauchssteuern, ohne Mehrwertsteuer;
Jahresverbrauch 100.000 Gigajoule bis unter 1.000.000 Gigajoule

Erdgaspreise:

Jahresmittel 2019: 1,57 ct/ kWh

Jahresmittel 2021: 3,86 ct/ kWh

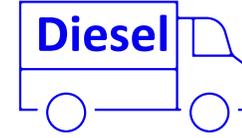
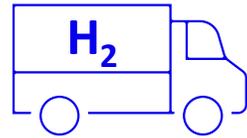
Jan-April 2022: 10,39 ct/ kWh

ERNEUERBARE ENERGIEN

Grüner Wasserstoff ist zum ersten Mal günstiger als Wasserstoff aus Erdgas



Kostenvergleich zwischen H₂- und Diesel-LKW



Tank mit 32 kg Fassungsvermögen



Tank mit 400 l Fassungsvermögen



> 400 km Reichweite



1.600 km Reichweite

Je 100 km



Verbrauch ca. 13 kg



Verbrauch ca. 25 l



Kosten ca. 167 Euro
bei einem kg-Preis i.H.v. 12,85 Euro



Kosten ca. 50 Euro
bei einem kg-Preis i.H.v. 2,019 Euro



Im Mobilitätsbereich ist Wasserstoff heute – trotz gestiegener Dieselpreise im Vergleich zum Vorjahr – bei einer ausschließlichen Bewertung des Preises nicht wettbewerbsfähig.

Damit Wasserstoff für Ihre Fahrzeugflotte interessant wird, sind besondere Anstrengung im Marketing notwendig. Mit einer klimaneutralen Logistik können Sie sich von Mitbewerbern abheben. Um eine entsprechende Außenwirkung zu unterstützen, ist zu prüfen, ob eine Zertifizierung nach [PAS 2060](#) in Ihrem Unternehmen sinnvoll ist.





Der Preis für H₂ variiert nach Erzeugerland.

- Die Möglichkeiten, grünen Wasserstoff zu erzeugen, sind aufgrund der limitierten Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien in Deutschland begrenzt. Um ausreichend grünen Wasserstoff zur Dekarbonisierung von Wirtschaft und Gesellschaft bereitzustellen, wird Deutschland also auf den Import von grünem Wasserstoff angewiesen sein.
- Als Exportländer eignen sich Regionen, die viel Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugen (können) und über ausreichend Platz für die notwendige Erzeugungs- und Transportinfrastruktur verfügen. Hierzu zählen Länder mit viel Wind, Sonne oder Niederschlag. Daher kommen sowohl Länder südlich (z.B. Südeuropa, Nordafrika) als auch nördlich (z.B. Skandinavien) von Deutschland als mögliche Handelspartner infrage.
- Beim Import sind die Transportkosten ein wichtiger Preisfaktor. Die Erzeugungskosten im Exportland sowie die Art des Transports, das verwendete Trägermaterials und ggf. notwendig werdende Konversion des Trägermaterials in Wasserstoff sowie die zu überwindenden Distanzen führen zu deutlichen Unterschieden bei den Angebotskosten. Grundsätzlich ist der Transport mittels Pipeline günstiger als der Seeweg per Schiff.
- U.a. sind Dänemark, Norwegen, Schweden, Spanien, Marokko, Saudi-Arabien und Australien mögliche Belieferer Deutschlands mit grünem Wasserstoff. Die Preisspanne ist allerdings sehr hoch aufgrund der unterschiedlichen lokalen Voraussetzungen, der unterschiedlichen Transportwege und marktbedingter Unsicherheiten.
- Unter Optimalbedingungen könnte Deutschland günstigen Wasserstoff aus Skandinavien sowie Spanien und Marokko beziehen. Die Verfügbarkeit von Erneuerbaren Energien ist hoch, gleichzeitig ist der Transport per Pipeline vergleichsweise günstig.
- Die hohen Aufwendungen für den Transport treiben die Preise für Wasserstoff aus Saudi-Arabien und Australien in die Höhe. Nichtsdestoweniger gibt es politische Anstrengungen, Wasserstoff aus diesen Ländern für Deutschland zu beschaffen. Dies liegt an der erwarteten frühzeitigen Verfügbarkeit grünen Wasserstoffs.

Erwartete Kosten im Jahr 2030 für grünen Wasserstoff nach Erzeugerländer inklusive Transportkosten (per Pipeline und Schiff)

	Cent/kWh Min	Cent/kWh Max	EUR/kg Min	EUR/kg Max
DEUTSCHLAND	7,03	17,16	2,32	5,66
DÄNEMARK	6,18	17,46	2,04	5,76
NORWEGEN	5,86	17,58	1,93	5,80
SCHWEDEN	7,29	17,25	2,41	5,69
SPANIEN	5,75	22,35	1,90	7,38
MAROKKO	6,15	17,12	2,03	5,65
SAUDI-ARABIEN	10,39	31,79	3,43	10,49
AUSTRALIEN	13,61	27,00	4,49	8,91

Anmerkung: Das Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln approximiert die Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien (z.B. Sonnenstunden) sowie weiterer Kostenpunkte (z.B. Transport) zu einer möglichen Angebotspreisspanne.



HÜRDEN, POLITISCHE FORDERUNGEN UND EINE ROADMAP FÜR DIE TRANSPORTWIRTSCHAFT

Für den Markthochlauf im Regierungsbezirk Arnsberg





Hürden für die Umstellung auf und Nutzung von H₂



PERSPEKTIVE DER INDUSTRIEUNTERNEHMEN



Kein starkes Incentive grünen H₂ zu nutzen: aktuell Preisnachteile statt –vorteile



Innovationen erschwert: Mangelhafter Zugang von Unternehmen (v.a. Mittelständler/ KMU) zu Forschungsinfrastruktur



Fehlende Planungssicherheit:

- Fehlende Anbindung an das H₂-Netz
- Zukünftige Versorgung mit großen H₂-Mengen unklar



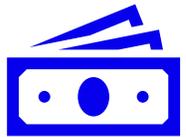
Fehlendes Wissen und Erfahrung im Fördermittelmanagement in den Unternehmen



Hürden für die Umstellung auf und Nutzung von H₂



PERSPEKTIVE DER TRANSPORTWIRTSCHAFT



Kein starkes Incentive grünen H₂ aktuell zu nutzen: Hohe Investitions- und Betriebskosten bei zahlreichen alternativen Technologieoptionen (Batterie, CNG/LNG) mit besserer infrastruktureller Versorgung und geringeren Kosten



Flottenerneuerung erschwert: keine einheitlichen Technologiestandards/ hohe Technologieviefalt bei Fahrzeugherstellern



Zukünftige Infrastrukturversorgung unklar: Geschwindigkeit und Umfang des Infrastrukturaubaus für die Marktakzeptanz entscheidend



Limitierte Einsatzmöglichkeiten: Eignung von H₂-Flotten nur für ausgewählte internationale Routen (z.B. Schweiz, BeNeLux-Staaten)



Fehlendes Wissen und Erfahrung im Fördermittelmanagement in den Unternehmen



Hürden für die Umstellung auf und Nutzung von H₂



PERSPEKTIVE DER KOMMUNEN



Fehlendes Wissen und Erfahrung bei der Genehmigung von H₂-Anlagen (z.B. Tankstellen)



Fehlende Ankernutzer und garantierte Abnahmemengen



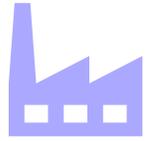
Fehlende Finanzmittel in den Stadtwerken zur Finanzierung ganzheitlicher Systemumstellungen und Stärkung ihrer Rolle als „first mover“



Fehlendes Wissen und Erfahrung im Fördermittelmanagement



Forderungen an die Politik



PERSPEKTIVE DER INDUSTRIEUNTERNEHMEN

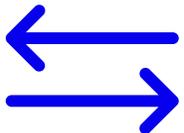


Erzeugung grünen Wasserstoffs vereinfachen:

- Erhöhung des Zubaus Erneuerbarer Energien zur Senkung des H₂-Preises
- Beteiligung ausgeförderter EE-Anlagen ohne Repowering an PPA-Verträgen



Vereinfachung von Genehmigungsverfahren zur Errichtung von (verbrauchernahen) EE-Anlagen und H₂-Infrastruktur (z.B. Elektrolyseure)



Zugang zu grünem Wasserstoff:

Anbindung an H₂-Pipelinennetz, verbrauchernahe Wasserstoff-Ökosysteme



Etablierung europäischer Zertifizierung und Standards:

- Normen zur Beurteilung und Ausweisung der H₂-Qualität
- Nachweisführung für grünen Wasserstoff



Forderungen an die Politik



PERSPEKTIVE DER TRANSPORTWIRTSCHAFT (I)



Vereinfachung von Genehmigungsverfahren zur Errichtung von (verbrauchernahen) EE-Anlagen und H₂-Infrastruktur (z.B. Elektrolyseure)



Beschleunigung des H₂-Infrastrukturausbaus durch die Begrenzung der Dauer von Genehmigungsverfahren



Mehr Forschung und Erkenntnisgewinn bspw. zu Betankungstechnologien



Forderungen an die Politik



PERSPEKTIVE DER TRANSPORTWIRTSCHAFT (II)



Verlässliche, klare Richtungsvorgaben der Politik zur Orientierung

Finanzielle Hilfen:



- Finanzielle Unterstützung zur Flottenerneuerung bis 2030 und darüber hinaus
- Praxisnähere Förderbedingungen zur Kompensation von „first mover“-Risiken, begrenzter Einsetzbarkeit und technologiebedingter Mehrkosten



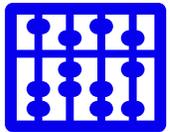
(Gesetzliche) Verpflichtung zur stärkeren Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten bei der Auftragsvergabe durch die öffentliche Hand als weitere Säule zur Kompensation von technologiebedingten Investitionsmehrausgaben



Forderungen an die Politik



PERSPEKTIVE DER KOMMUNEN (I)



Langfristige Finanzierbarkeit von H₂-Infrastrukturen erleichtern durch Vereinfachung der gewerbliche Nachnutzung dieser nach Beendigung staatlicher Förderprojekte



Stellenwert von Wasserstoff als staatliche Hoheitsaufgabe um Konflikte um Partikularinteressen aufzulösen



Eindeutige und bundesweit einheitlichen Regeln zur Genehmigung von H₂-Anlagen (z.B. Tankstellen, Elektrolyseure, Speicher, PPA)



Forderungen an die Politik



PERSPEKTIVE DER KOMMUNEN (II)



Finanzielle Unterstützung um öffentliche Unternehmen als early adopter/ first mover zu positionieren und so die regionale H₂-Nachfrage zu steigern



Förderprogramme für Non-Road-Anwendungen, um Nachfrage nach H₂ regional zu stärken und neue Ankernutzer zu ermöglichen (z.B. Rechenzentren)



Bundesweites Kataster des Gasnetzes im Zuge der Marktumstellung um den Aufbau regionaler und überregionaler H₂-Netze zu vereinfachen



Wasserstoff im Regierungsbezirk Arnsberg



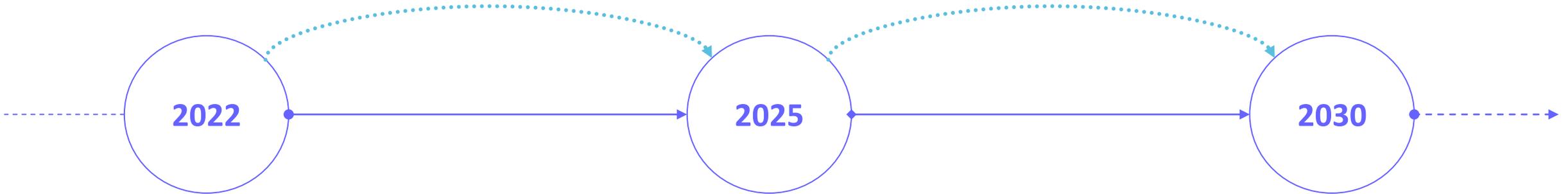
Die regionalen Voraussetzungen für die Nutzung von Wasserstoff sind vielversprechend.

- **Gute Anbindung durch enges H₂-Netz:**
Durch seine Lage in NRW profitiert der Regierungsbezirk Arnsberg sowohl vom European Hydrogen Backbone auch als von dem geplanten H₂-Netz in Deutschland. Für die „letzte Meile“, die aber im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands kurz ist, müssen noch Transportlösungen gefunden werden.
- **Nähe zu Gasnetzbetreibern:**
Die Offenheit und hohe Dichte von Gasnetzbetreibern im Regierungsbezirk Arnsberg und in NRW ggü. Wasserstoff als Energieträger ist eine wichtige Ressource für Unternehmen, die zukünftig H₂ für die industrielle Produktion oder Logistik nutzen wollen. Es ist sinnvoll, abzusehende Bedarfe frühzeitig an die Netzbetreiber zu melden und Interesse an H₂ zu signalisieren.
- **Know-How und Erfahrung durch H₂-affine Unternehmen:**
Im Bereich Strom und Gas (z.B. Thyssengas, Westfalen AG, Westenergie, Westnetz, Amprion), öffentliche Versorgung, energieintensive Industrieunternehmen und Umrüstungsunternehmen im Mobilitätsbereich besteht bereits ein enges Akteursnetz im Regierungsbezirk, die die Wasserstoffwertschöpfungskette abdecken und die Anwendung von Wasserstoff weiter voranbringen können.
- **Großes Momentum entsteht durch Ankernutzer:**
Die Nachfrage von Wasserstoff in Industriebetrieben sind der Ausgangspunkt für den Aufbau regionaler Wasserstoff-Ökosysteme. Sie sichern die Nachfrage und erleichtern Anwendungen, die darüber hinausgehen. Im Mobilitätssektor sollten kommunale Verkehrsbetreiber zu Vorreitern werden und eine Basisnachfrage nach Wasserstoff gewährleisten.
- **Dichtes Netz an Binnenhäfen und Kanälen bieten Potenzial für bi- oder trimodale H₂-Tankstellen:**
Projekte wie in Duisburg (enerport) oder Gelsenkirchen (Klimahafen) können als Vorbild für die Hafen- und Kanalinfrastruktur im Regierungsbezirk Arnsberg fungieren, denn ihr dichtes Netz ist ein Alleinstellungsmerkmal dieser Region. Auch Häfen und angeschlossene Industriebetriebe können im Verbund zu Ankernutzern ausgebaut werden.



Eine H₂-Roadmap für die Transportwirtschaft

Erwartete Entwicklungen: Steigendes H₂-Angebot, Sinkender Preis für H₂, Serienfertigung von SNF, Ausbau der Infrastruktur (national und international)



To Dos heute bis 2025:

Alle Unternehmen

- Vernetzen, sich zusammenschließen
- Informieren
- Beobachten

Proaktive/ neugierige Unternehmen:

- Situationsanalyse mit Kunden und Auftraggebern sowie der Rahmenbedingungen
- Anfertigung von Machbarkeitsanalysen
- Strategieentwicklung für dekarbonisierte Betriebsprozesse
- Erprobung von H₂-Antrieben bei leichten Nutzfahrzeugen

Risikobereite Unternehmen:

- (Punktuelle, modellhafte) Technologische Flottenerneuerung mithilfe von Fördermitteln

To Dos ab 2025 bis 2030:

Alle Unternehmen

- Situationsanalyse mit Kunden und Auftraggebern sowie der Rahmenbedingungen
- Anfertigung von Machbarkeitsanalysen
- Strategieentwicklung für dekarbonisierte Betriebsprozesse

Proaktive/ neugierige Unternehmen

- Mit Serienfertigung von SNF und weiterem Infrastrukturausbau erste Investitionen in technologische Flottenerneuerung sinnvoll
- Nutzung von Fördermitteln

Risikobereite Unternehmen

- Ausweitung der technologischen Flottenerneuerung

To Dos ab 2030:

Alle Unternehmen

- Investitionen in die technologische Flottenerneuerung

Proaktive/ neugierige Unternehmen

- Abschluss bzw. Ausweitung der technologischen Flottenerneuerung



REFERENZEN





Referenzen (I)

Folie	Referenzen
7	TÜV Nord Group, 2022, Was sind die Merkmale von Wasserstoff?, https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-eigenschaften-sicherheit-gefahren/
8	Hornig, Pauline/ Kalis, Michael, 2020, Wasserstoff – Farbenlehre. Rechtswissenschaftliche und rechtspolitische Kurzstudie, Studie im Auftrag des Cluster Energietechnik Berlin Brandenburg der Wirtschaftsförderung Brandenburg. BMWK, 2020, Die Nationale Wasserstoffstrategie, Berlin.
9	MWIDE, 2020, Wasserstoff-Roadmap Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
10	EnBW Energie Baden-Württemberg AG, 2022, Grün, blau, türkis... das bedeuten die Wasserstoff-Farben, https://www.enbw.com/unternehmen/eco-journal/wasserstoff-farben.html
11	Agora/ Prognos/ Öko-Institut/ Wuppertal-Institut (2021, Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen; URL: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A Dena, 2021, Dena (2021), Abschlussbericht dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität, https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf BDI, 2021, Klimapfade 2.0. Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft, Studie der Boston Consulting Group im Auftrag des BDI
12	MWIDE, 2020, Wasserstoff-Roadmap Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
14-15	Van Rossum, Rik et al., 2022, European Hydrogen Backbone. A European Hydrogen Infrastructure covering 28 countries, Utrecht.
16-17	FNB Gas, 2021, Wasserstoffnetze 2030 & 2050: für ein klimaneutrales Deutschland, Foliensatz des Webinars am 08.12.2021, https://fnb-gas.de/wp-content/uploads/2021/12/2021-12-08_FNB-Gas-Webinar_H2-Netze_2030_2050.pdf
20	DEUTZ AG, 2021, Der Wasserstoffmotor von DEUTZ ist reif für den Markt, Pressemitteilung vom 12.08.2021, https://www.deutz.com/media/pressemitteilungen/der-wasserstoffmotor-von-deutz-ist-reif-fuer-den-markt TÜV Nord Group, 2022, Wasserstoff-Brennstoffzelle: Funktion & Arten, https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-brennstoffzelle
21	TÜV Nord Group, 2022, Wasserstoff-Brennstoffzelle: Funktion & Arten, https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-brennstoffzelle TÜV Nord Group, 2022, Elektrolyse von Wasser zur Herstellung von Wasserstoff, TÜV Nord Group, 2022, Wasserstoff-Brennstoffzelle: Funktion & Arten, https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/herstellung/elektrolyse-von-wasser/
22	TÜV Nord Group, 2022, Was sind die Merkmale von Wasserstoff?, https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-eigenschaften-sicherheit-gefahren/
23	Puls, Thomas, 2022, CO2-Regulierung des Straßenverkehrs in Europa, Kompendium 5.2, Datensammlung zur Entwicklung von CO2-Emissionen des Pkw-Verkehrs in der Europäischen Union, Köln
24	IW Consult/ Fraunhofer IAO/ Aautomotiveland.NRW, 2021, Zukunft der Automobilwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Status quo, Trends, Szenarien, Studie für das Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.



Referenzen (II)

Folie	Referenzen
29	Faber, Winn, 2019, Erste niederländische Wasserstofftaxiflotte fährt in Den Haag, https://www.taxi-times.com/erste-niederlandische-wasserstofftaxiflotte-fahrt-in-den-haag/ Toyota, 2021, Toyota Mirai fährt als Taxi durch Kopenhagen, Pressemitteilung vom 24.11.2021, https://www.toyota-media.de/blog/toyota-modelle/artikel/toyota-mirai-fahrt-als-taxi-durch-kopenhagen/text Air Liquide, 2021, Taxi fahren in Paris: Jetzt mit Wasserstoff!, Pressemitteilung vom 27.03.2019, https://de.airliquide.com/ueber-uns/medien/news-blog/taxi-fahren-paris-jetzt-mit-wasserstoff Werwitzke, Cora, 2021, Madrid: Taxiverband führt 1.000 H ₂ -Pkw bis 2026 ein, https://www.electrive.net/2021/06/14/madrid-taxiverband-fuehrt-1-000-h2-pkw-bis-2026-ein/#:~:text=Der%20Taxiverband%20Federaci%C3%B3n%20Profesional%20del, die%20Betankung%20mit%20Wasserstoff%20aufbauen
30	Zentralverband des Deutschen Handwerks, 2020, Fahrzeuge und Mobilität im Handwerk. Ergebnisse einer Befragung unter Handwerksbetrieben im ersten Quartal 2020, Berlin.
36-43	H2 Mobility, 2021, Wasserstoffbetankung von Schwerlastfahrzeugen – die Optionen im Überblick, Berlin.
44	H2 Mobility, 2022, https://h2.live/ (Stand April 2022); eigene Recherchen
46	Europäischer Rat/ Rat der Europäischen Union, 2022, „Fit für 55“. Der EU-Plan für den grünen Wandel, https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/ Europäische Kommission, 2021, Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:dbb134db-e575-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0008.02/DOC_1&format=PDF
62	H2 Mobility, 2021, Brennstoffzellen-Akku-Schubboot ELEKTRA geht in Erprobung, https://h2.live/news/2200/ Voss, Liane, o.J., Hydrogen as Ship-Fuel. Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt, 2022, https://www.binnenschiff.de/
63-67	Fraunhofer UMSICHT, 2021, Metastudie. Binnenhäfen als Handlungsräume der Energiewende, Oberhausen.
65	Stadt Dortmund, o.J., Dortmund blickt nordwärts, https://www.dortmund.de/media/p/nordwaerts/pdf_nordwaerts/innenstadt_nord_2/innenstadt_nord_projekte/533_Projektsteckbrief_CleanPort.pdf EON, 2018, Einzigartige Kooperation zur Energieverwertung am Cleanport Dortmund, PM vom 07.02.2018, https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/2018/einzigartige-kooperation-zur-energieverwertung-am-cleanport-dortmund.html#:~:text=ON%20und%20den%20Deutschen%20Gasru%C3%9Fwerken,f%C3%BCr%20die%20Logistik%20viele%20M%C3%B6glichkeiten Nordstadtblogger, 2015, Technologiezentrum Dortmund will 19 Millionen Euro in ein neues Kompetenzzentrum CleanPort im Hafen investieren, https://www.nordstadtblogger.de/technologiezentrum-dortmund-will-19-millionen-euro-in-ein-neues-kompetenzzentrum-cleanport-im-hafen-investieren/
66	Duisport, 2022, Energiewende im Duisburger Hafen – Duisburg Gateway Terminal (DGT): Offizieller Startschuss für das Projekt enerPortII, PM vom 03.03.2022, https://www.duisport.de/energiewende-im-duisburger-hafen-duisburg-gateway-terminal-dgt-offizieller-startschuss-fuer-das-projekt-enerport-ii/ Rheinische Post, 2022, Neues Bildungszentrum für Wasserstoff-Fachkräfte im Hafen geplant, Beitrag vom 21.04.2022, https://rp-online.de/nrw/staedte/duisburg/duisburg-neues-bildungszentrum-fuer-wasserstoff-fachkraefte-im-hafen-geplant_aid-68311173 Fraunhofer UMSICHT, 2021, Im Duisburger Binnenhafen entsteht das erste klimaneutrale Containerterminal Europas – auf Basis von Sektorenkopplung und erneuerbaren Energie, Pressemitteilung vom 16.12.21, https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2021/enerportII.html



Referenzen (III)

Folie	Referenzen
68	<p>Internationales Verkehrswesen, 2022, Siemens-Wasserstoffzug ab 2023 bei der Bayerischen Regionalbahn, Beitrag vom 16.03.2022, https://www.internationales-verkehrswesen.de/siemens-wasserstoffzug-ab-2023-bei-der-bayerischen-regiobahn/</p> <p>NOW GmbH, 2022, Schiene, https://www.now-gmbh.de/sectoren-themen/mobilitaet-verkehrstraeger/schiene/#:~:text=Bis%20Herbst%202021%20sollen%2014,Bahn%20zum%20Einsatz%20kommen%20soll.</p> <p>Allianz pro Schiene, 2022, Ein Überblick: Alternative Antriebe auf der Schiene, https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/innovative-antriebe-auf-der-schiene/</p> <p>Wilkens, Andreas, 2022, Weltweit erstes Netz mit Wasserstoff-Zügen in Betrieb, https://www.heise.de/news/Weltweit-erstes-Netz-mit-Wasserstoff-Zuegen-in-Betrieb-7241865.html</p>
71	<p>Greenpeace Energie EG, 2020, Blauer Wasserstoff. Lösung oder Problem der Energiewende? Fakten, Hintergründe, Argumente, Hamburg.</p>
72	<p>Statistisches Bundesamt, 2022, Preise: Daten zur Energiepreisentwicklung - Lange Reihen von Januar 2005 bis März 2022</p>
73	<p>ADAC, 2022, So haben sich die Spritpreise seit 1950 entwickelt, https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/deutschland/kraftstoffpreisentwicklung/ (01.06.2022)</p> <p>H2 Mobility, 2022, https://h2.live/</p> <p>Hyundai, 2022, Hyundai XCIENT Fuel Cell, https://trucknbus.hyundai.com/global/en/products/truck/xcient-fuel-cell</p> <p>Hyundai, 2022, Hyundai Xcient, https://trucknbus.hyundai.com/global/en/products/truck/xcient#brochure</p> <p>Bridgestone Mobility Solutions, 2020, So viel Kraftstoff verbrauchen LKW, https://www.webfleet.com/de_de/webfleet/blog/so-viel-kraftstoff-verbrauchen-lkw/#:~:text=Zusammenfassung%20%E2%80%93%20So%20viel%20verbrauchen%20Lastwagen,Nutzlast%20%E2%80%93%205%20Liter%20F100%20Kilometer</p>
74	<p>Brändle et al., 2020, Estimating Long-term Global Supply Costs for Low-Carbon Hydrogen; EWI Working Paper, No 20/04</p>



HERZLICHEN DANK

an die Interviewpartner und -partnerinnen

- Dr. Andreas Breuer, Westnetz GmbH
- Klaus-Peter Ehrlich-Schnelting, RES Group
- Markus Helms, wfg Wirtschaftsförderung Kreis Soest GmbH, HyStarter Soest
- Frank Hockelmann, Kreis Soest, HyStarter Soest
- Elena Hof, NOW GmbH
- Uwe Kerkmann, H2UB
- Jimmie Langham, cruH 21 GmbH
- Philip Müller, Fraunhofer IML
- René Pessier, Mobilitätswerk GmbH
- PD Dr. Patrick Plötz, Fraunhofer ISI

an die Workshopteilnehmer und – teilnehmerinnen am 14.6.2022 in Hagen

an die Rückmeldungen zur Akteurserhebung via E-Mail



IMPRESSUM

© Oktober 2022

Verkehrsverband Westfalen e.V.

Märkische Straße 110
44141 Dortmund

Ansprechpartner:

Sebastian Peltzer
Lukas Metzger

IW Consult GmbH

Konrad-Adenauer-Ufer 21
50668 Köln

Ansprechpartner:

Dr. Vanessa Hünнемeyer
Hanno Kempermann