

+ Factsheet HyLand

„HyLand – Wasserstoffregionen in Deutschland“ ist ein 2019 vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ausgerufenen Wettbewerb, der sich bereits in der zweiten Runde befindet. HyLand motiviert Akteure in allen Regionen Deutschlands, Konzepte mit Wasserstoffbezug zu initiieren, zu planen und umzusetzen.

Das folgende Factsheet bietet einen Überblick über die Wertschöpfungsstufen von Wasserstoff im Verkehrssektor. Das Factsheet zeigt auf, welche Gedanken man sich machen sollte, wenn man Wasserstoff im Verkehrssektor einsetzen will. Die Erkenntnisse sind aus den Studien der HyExpert Regionen der ersten Phase abgeleitet, welche zwischen 2020 und 2022 erstellt wurden, und durch aktuelle Entwicklungen ergänzt. **In 13 Regionen haben sich insgesamt über 300 Akteure an den Planungen beteiligt**, darunter Länder und Kommunen, kommunale und private Energieversorger, ÖPNV- und SPNV-Betreiber und Aufgabenträger sowie Logistiker und andere Flottenbetreiber.

Regionale Wasserstoffvorhaben wie sie im HyLand Wettbewerb konzipiert, geplant und umgesetzt werden, bilden in der Regel die gesamte Wertschöpfungskette von Wasserstoff im Verkehrssektor ab. Angefangen bei der Erzeugung und Bereitstellung von grünem Strom für die Wasserstoffproduktion durch Elektrolyse, der Wasserstoffspeicherung und -aufbereitung bis hin zur Nutzung sowie dem Aufbau der entsprechenden Tankstellen- und Versorgungsinfrastrukturen. Das Einbeziehen der vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen, welche meist durch verschiedene Organisationen bereitgestellt werden, findet bei Planung entweder direkt durch ein Verbundvorhaben oder indirekt, durch strategische Abstimmung statt.

Für mehr Informationen besuchen Sie www.hy.land

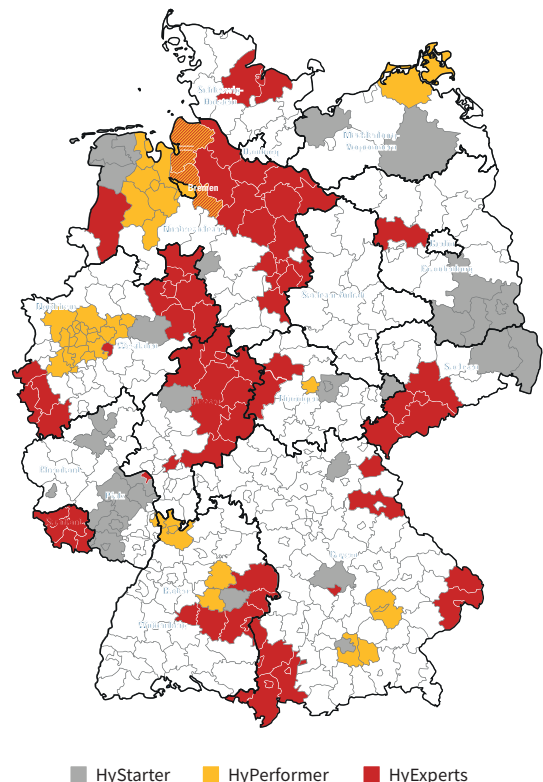


Abb. 1

1. Stromerzeugung

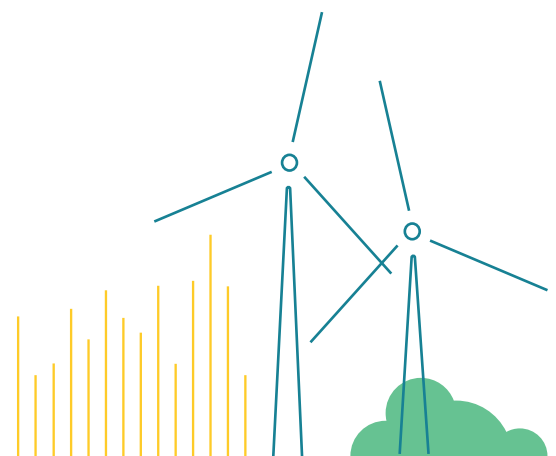
Die Verfügbarkeit von erneuerbarem Strom zu günstigen Preisen ist eine Grundvoraussetzung für ein wirtschaftliches Wasserstoffvorhaben. Je nach Leistung des Elektrolyseurs machen die Stromkosten bis zu 80 % des Preises pro kg Wasserstoff aus. Die europäische Gesetzgebung definiert sog. „Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBOs)“ in Abhängigkeit des genutzten Stroms.

Folgende Kriterien gelten grundsätzlich, um die Anrechnung als vollständig erneuerbarem Strom rechtlich zu gewährleisten:

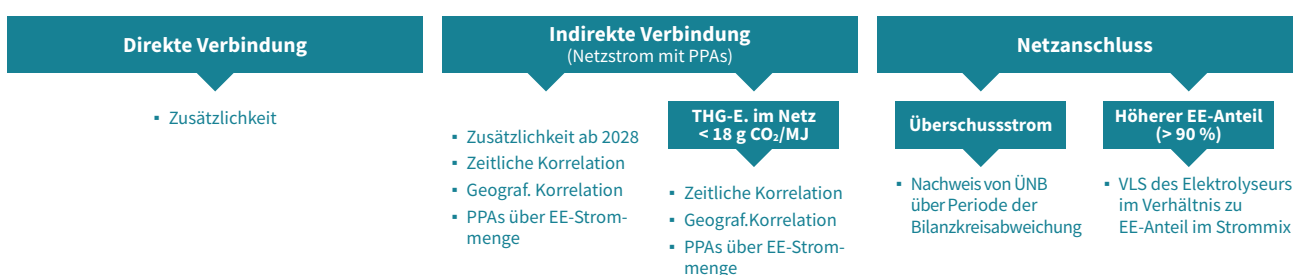
- **Zusätzlichkeit** – Neugebaute Wind- und PV-Anlagen die frühestens drei Jahre vor dem Elektrolyseur in Betrieb gingen (für PPAs aus dem Netz ab 2028).
- **Zeitliche Korrelation** – Bilanzierung des in den EE-Anlagen erzeugten und im Elektrolyseur verbrauchten Stroms im selben Kalendermonat (ab 2030 stündlich).
- **Geografische Korrelation** – Elektrolyseur und EE-Anlagen stehen in der gleichen Gebotszone.

Die Kriterien gelten sowohl für sog. Direktverbindungen, wobei der Strom nicht über das öffentliche Netz transportiert wird, als auch in Fällen wo der Strom über „Power-Purchase-Agreements (PPA)“ per Direktvertrag mit Anbietern über das Netz bezogen wird. Die Kriterien werden gesetzlich in der 37. BImSchV festgehalten. Für Elektrolyseure, die heute bereits in Betrieb sind oder vor 2028 in Betrieb gehen, gelten Übergangsfristen für die Einhaltung des Zusätzlichkeitskriteriums.

In den 13 HyExpert Regionen der ersten HyLand Phase planen **15 % der Vorhaben mit einem forcierten EE-Ausbau, 85 % planen die Nutzung von bestehenden Wind- und PV-Anlagen, davon 50 % Wind- und PV-, 30 % Müllheizkraftwerke, 19 % grünen Netzstrom (via PPAs) und 1 % Wasserkraft**. Bei der Verwendung von Strom aus Wind-, PV- und Wasserkraftanlagen kann der Wasserstoff als RFNBO vermarktet werden. Wird biogener Strom aus Abfall- und Reststoffen für den Elektrolyseprozess genutzt, kann der produzierte Wasserstoff als fortschrittlicher Biokraftstoff vermarktet werden.



Strombezugskriterien für RFNBOs:



2. Wasserstoffproduktion

In ihren Konzepten haben die 13 HyExpert I Regionen den Aufbau von **281,5 MW Elektrolysekapazität bis 2025** geplant, bis 2030 sollen bereits 2.042,2 MW installiert sein. Damit können ca. **17.000 bzw. 120.000 Tonnen H₂ pro Jahr** erzeugt werden. Das entspricht einem Investitionsvolumen für Elektrolyseure von ca. 2,5 Mrd. Euro bis 2030. Die Gesteuerungskosten für Wasserstoff, bzw. die Levelized cost of Hydrogen (LCOH) liegen zwischen 4 und 5,50 EUR/kg H₂.

- 60 % der Regionen planen mit einem PEM-Elektrolysesystem
- 90 % der Regionen plant mit unter 5 MW Elektrolyseursystemen als 1. Ausbaustufe
- 90 % der Regionen berücksichtigt Nutzung von Sauerstoff und Abwärme



Die Produktion von grünem Wasserstoff verteilt sich in Deutschland derzeit hauptsächlich auf Pilot- und Forschungsanlagen sowie auf erste kommerzielle Anlagen. Die derzeit installierte Elektrolysekapazität in Deutschland wird auf ca. 200 MW geschätzt, durch über 40 Power-to-Gas (PtG) Anlagen in ganz Deutschland.

Durch die Elektrolyse wird reines Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Um 1 kg Wasserstoff zu produzieren, werden durchschnittlich ca. 12 Liter Wasser benötigt. Als Nebenprodukte fallen rund 8 kg reiner Sauerstoff an, sowie Abwärme mit einem Temperaturniveau zwischen 60 °C und 80 °C. Mit dem Verkauf der Nebenprodukte können Zusatzgewinne erzielt werden, die den Betrieb wirtschaftlicher machen.

Die regulatorischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für den Betrieb einer Elektrolyseanlage wurden in Punkt 1 beschrieben. Technische Voraussetzungen beinhalten eine Stromanbindung mit ausreichend verfügbarer Leistung, die Versorgung mit reinem Wasser sowie einem Abwasseranschluss.

Levelized Cost of Hydrogen (LCOH):

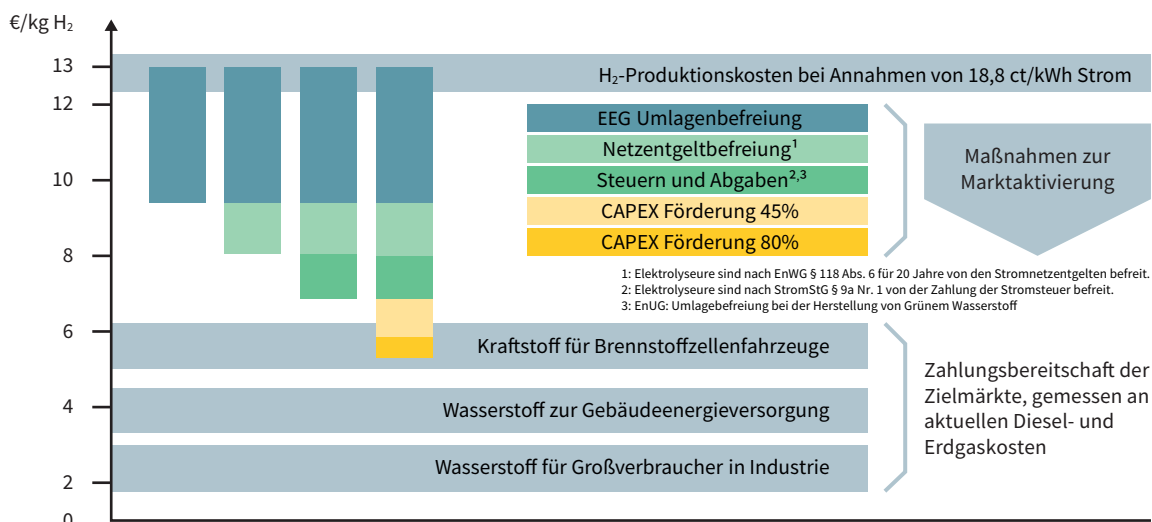


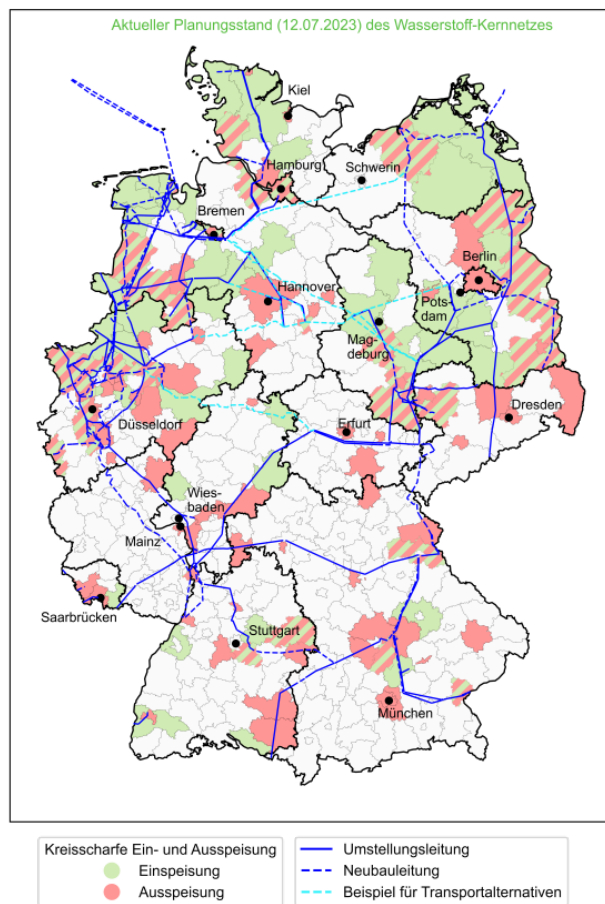
Abb. 3

3. Speicherung und Transport

Neben dem direkten Verbrauch vor Ort (sog. On-Site Elektrolyse) kann Wasserstoff per Trailer oder Pipeline an den Bestimmungsort transportiert werden. Der Transport per Pipeline setzt eine kontinuierlich hohe Abnahme und längere Transportdistanzen voraus. Bei der Nutzung größerer Fernleitungen muss der Wasserstoff auf ein Druckniveau zwischen 70 bar und 100 bar verdichtet werden, bei kleineren regionalen Leitungen reichen indes 20 bar bis 30 bar aus. Bislang gibt es in Deutschland mehrere kleine Wasserstoff-Netze mit einer Gesamtlänge von ca. 400 Kilometern. Die bestehenden Erdgasnetze können jedoch ohne allzu großen Aufwand auf den Transport von Wasserstoff umgestellt werden. Ein bundesweites Wasserstoffnetz ist derzeit von den Netzbetreibern in Planung.

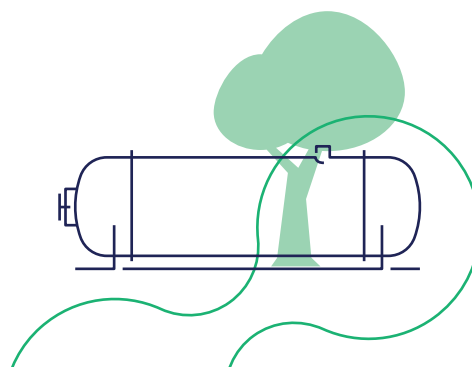
Bisher wird gasförmiger Wasserstoff üblicherweise mittels Trailer bei einem Druckniveau zwischen 200 bar und 500 bar transportiert. Mit einem Standard 40-Fuß-Trailer können bei 500 bar mehr als 1.000 kg Wasserstoff transportiert werden. Mit steigendem Druck erhöht sich die Menge des transportierten Wasserstoffes, jedoch auch die Einfüllungszeiten sowie die Kompressorleistung an den Abfüllanlagen. Die Verflüssigung des Wasserstoffs bei ca. -253 °C oder die Verbindung mit organischen Stoffen, sog. Carrier-Stoffen, stellen weitere Optionen dar.

Plan für das deutsche Wasserstoffkernnetz bis 2032 (Planungsstand Juli 2023):



Quelle: FNB-Gas

Abb. 4



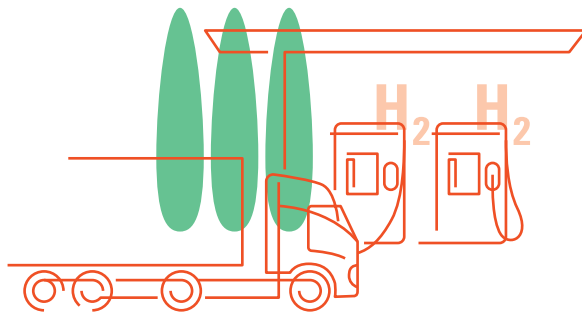
| Transportmittel | Behälter-Typ | Kapazität H ₂ |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Tube-Trailer 200 bar | Typ 1 | 300 kg |
| 40'-Trailer 300 bar | Typ 4 | 800 kg |
| 40'-Trailer 500 bar | Typ 4 | 1.100 kg |
| LH2-Trailer | Kryotank (Flüssigwasserstoff) | 3.500 kg; ca. 5 % Verlustrate durch Verdampfung |
| LOHC-Trailer | Konventioneller Trailer | 1.800 kg; ca. 10 % Verlustrate durch die Umwandlung |

Abb. 5

4. Wasserstofftankstellen

In ihren Konzepten haben die 13 HyExpert I Regionen den Aufbau von **16 HRS bis 2025**, bzw. **19 HRS bis 2030**, geplant. Dazu kommen die HRS des öffentlichen Netzes welche genutzt werden sollen. Das entspricht einem **Investitionsvolumen von ca. 60 Mio. Euro bis 2030**. Die Bereitstellungskosten an der Zapfsäule liegen zwischen 6 und 10 EUR/kg H₂.

- Ca. 50 % der HyExpert I Regionen planen den Aufbau eigener Tankstellen,
- die restlichen 50 % der HyExpert I Regionen planen mit dem öffentlichen Tankstellennetz,
- 15 % berücksichtigen eine mobile Tankstellenlösung.



Für den Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität werden Wasserstofftankstellen (Hydrogen Refuelling Stations – HRS) mit entsprechenden Druckausrichtung (350 bar / 700 bar) benötigt. Während ein Großteil der LKW- und Busflotten Wasserstoff mit einem Druckniveau von 350 bar benötigen, benötigt der Brennstoffzellen-PKW sowie einige wenige LKW-Modelle 700 bar.

Der Aufbau einer Tankstelleninfrastruktur in der Region kann die allgemeine Technologieakzeptanz sowie privatwirtschaftliche Folgeinvestitionen z.B. durch den Kauf von entsprechenden Brennstoffzellenfahrzeugen, stimulieren. Die Verfügbarkeit von Flächen und Betreibern, und vor allem die langfristig wirtschaftliche Perspektive einer Wasserstoff-Tankstelle sind wesentliche Faktoren für regionale Wasserstoffvorhaben. Der Umsatz der HRS sowie die dafür nötige Speichergröße beeinflussen die Wirtschaftlichkeit maßgeblich.

350 bar HRS (für schwere Nutzfahrzeuge) in Deutschland (Stand 09/23)

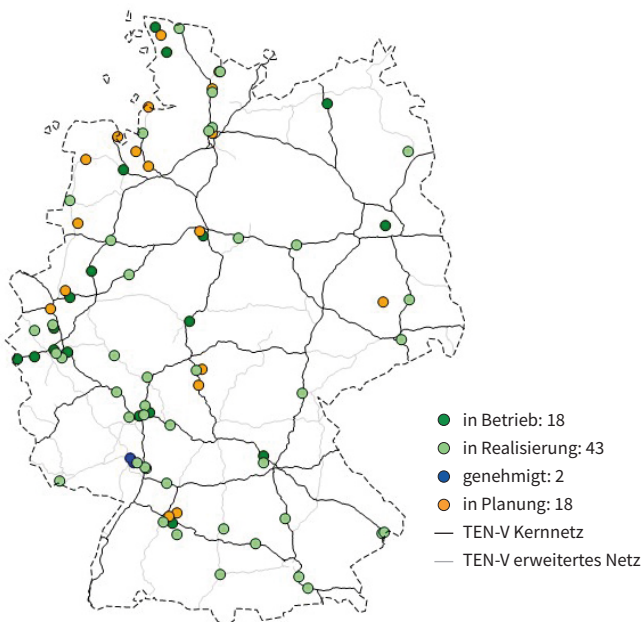


Abb. 6

700 bar HRS (für leichte Nutzfahrzeuge) in Deutschland (Stand 09/23)

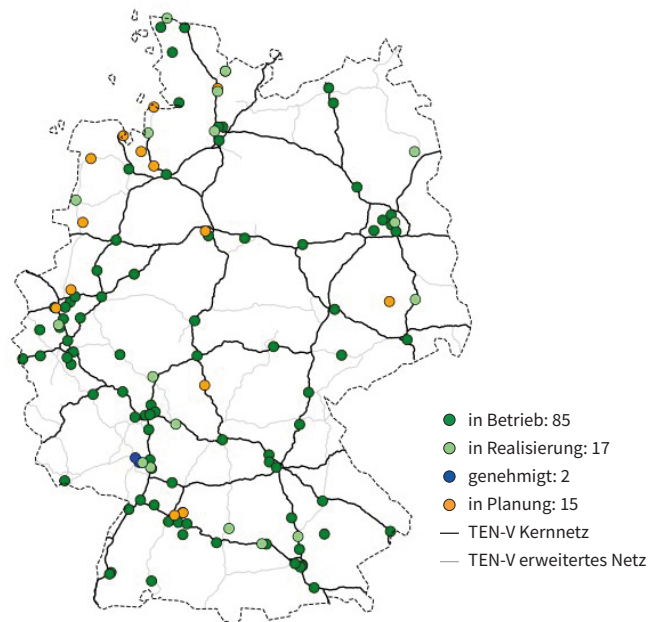


Abb. 7

5. Wasserstoffnutzung

Wasserstoff kann universell genutzt werden, als Rohstoff in der chemischen Industrie, in Raffinerien und als Gasersatz in der Industrie sowie in gewerblichen Betrieben, als Energiespeicher inklusive Rückverstromungsoption sowie als Kraftstoff in der Mobilität. In der Mobilität findet Wasserstoff bisher insbesondere im ÖPNV, dem Schwerlast- und Lieferverkehr, sowie im regionalen Schienenverkehr und vereinzelt in PKW-Flotten Anwendung. Auch Gabelstapler oder Spezialfahrzeuge, sowie die Binnen- und Seeschifffahrt kann durch Wasserstoff dekarbonisiert werden.

Die Nutzerprofile des Wasserstoffs beeinflussen direkt die technische und wirtschaftliche Auslegung der benötigten Anlagen und Komponenten. Sie definieren z.B. in welchem Aggregatzustand, in welchen Mengen, zu welchen Zeiten und an welchen Standorten Wasserstoff benötigt wird.

Wasserstoffmobilität wurde von den HyExpert I Regionen als eine **Alternative zu herkömmlichen Dieselfahrzeugen, und als Erfüllungsoption für gesetzliche Vorgaben**, akzeptiert. In Ihren Konzepten haben die 13 Regionen **Fahrzeugbeschaffungen im Gesamtwert von ca. 2,5 Mrd. Euro** geplant:




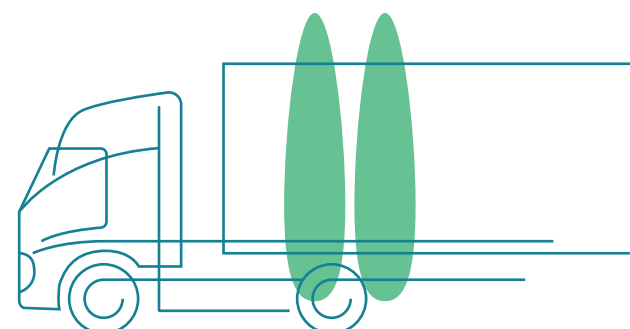
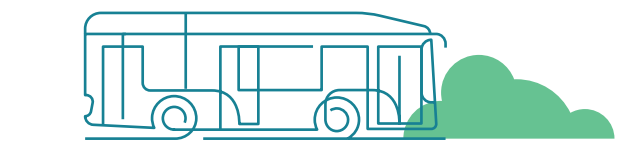
| | bis 2025 | bis 2030 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|
| Anzahl Busse ÖPNV  | 255 | 1.444 |
| Anzahl Lkw und Entsorgungsfahrzeuge  | 252 | 3.232 |
| Anzahl Pkws  | 29 | 562 |

Abb. 8

| Anwendung | Ø-Verbrauch | TRL* |
|-------------------------|------------------------------------------------------|------|
| Solobusse | 7-8 kg H ₂ /100 km | 9 |
| Gelenkbusse | 9-11 kg H ₂ /100 km | 8 |
| Lkw | 7-12 kg H ₂ /100 km | 8 |
| Abfallentsorgung | 5-6 kg H ₂ /100 km (inkl. Batteriesystem) | 9 |
| Gabelstapler | 0,3 kg H ₂ /100 km / Betriebsstunde | 9 |
| Lieferfahrzeuge | 2-4 kg H ₂ /100 km | 9 |
| Pkw | 0,9-1,2 kg H ₂ /100 km | 9 |
| Züge | 18-28 kg H ₂ /100 km | 9 |

* Technology Readiness Level (1-9)

Abb. 9





Impressum

Herausgeber

NOW GmbH
Fasanenstraße 5
10623 Berlin

Ansprechpartner

Alexander Gehling
E-Mail: alexander.gehling@now-gmbh.de
Tel.: +49 173 719 24 17

Im Auftrag von

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Gestaltung

motum GmbH

Erscheinungsjahr

September 2023

