


Herausforderungen beim Hochlauf von Zero-Emission-Nutzfahrzeugen in Baden-Württemberg – Fokus Brennstoffzellenantriebe

 Ergebnispapier der Mission V Themenfeld Energie

November 2023

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Status der Anwendung, Technik und Infrastruktur von LKW mit Wasserstoffantrieb	4
2.1 Fahrzeugverfügbarkeit	4
2.2 Bedarfsabschätzung	7
2.3 Status der Aufbauvorgaben und der Aufbauplanung von H ₂ -Tankstellen	9
2.4 Anwendung Mobilität, Logistik und ÖPNV	12
2.5 Stand der Technik für Nutzfahrzeug-Tankstellen	13
3. Hemmnisse	15
3.1 Technische Hemmnisse an Tankstellen	15
3.2 Fahrzeugverfügbarkeit	16
3.3 Standortkriterien und Netzplanung in Baden-Württemberg	17
3.4 Regulatorik für HRS	18
3.5 Regulatorik für Fahrzeuge	19
3.6 Regulatorik zur Wasserstoffverfügbarkeit	20
3.7 Förderkriterien	20
4. Handlungsoptionen	21
4.1 Offene technische Fragen für Nutzfahrzeug-Tankstellen	21
4.2 Fahrzeugverfügbarkeit	22
4.3 Standortkriterien und Netzplanung in Baden-Württemberg	23
4.4 Regulatorik für HRS	24
4.5 Regulatorik Fahrzeuge	26
4.6 Regulatorik zur Wasserstoffverfügbarkeit	26
4.7 Verbesserte Förderrichtlinien	27
4.8 Etablierung einer wettbewerbsfähigen HRS-Infrastruktur	29
5. Zusammenfassung	30
Abkürzungsverzeichnis	31
Abbildungsverzeichnis	32
Quellenangaben	32

1. Einleitung

Die Einführung von klimaneutralen Nutzfahrzeugen mit Wasserstoffantrieb kann nur gelingen, wenn der notwendige Infrastrukturaufbau parallel mit der Fahrzeugindustrie und der Wasserstoffversorgung abgestimmt wird. Dabei müssen die Standorte von Wasserstofftankstellen und die Bereitstellung von Wasserstoff regional mit dem Bedarf der Logistik, von Busunternehmen und anderen Anwendern verzahnt sein.

Verschiedene Ansätze zur Verwendung von Wasserstoff für klimaneutrale Mobilität sind seit mehr als drei Jahrzehnten in der Entwicklung. In den letzten Jahren hat sich der Fokus von Nutzfahrzeugen mit Wasserstoffantrieb auf den Schwerlastverkehr verlagert. Gerade diese Fahrzeuggruppe hat eine ausgeprägte Relevanz für CO₂-Einsparung. Dies hat für die Infrastruktur erhebliche Konsequenzen. Die erheblich höheren Leistungsaufnahmen beim Betankungsvorgang von schweren Nutzfahrzeugen übersteigt die maximalen Kapazitäten heute verfügbarer Wasserstofftankstellen (HRS). Gleichermaßen gilt dies für die strombasierte Ladeinfrastruktur schwerer Nutzfahrzeuge. Außerdem liegen für beide Infrastrukturen für Nutzfahrzeuge gegenüber PKW andere geometrische, technische oder regulatorische Anforderungen vor.

Dieses Whitepaper beschreibt die wesentlichen Herausforderungen – Fahrzeugverfügbarkeit, Standortkriterien und Netzplanung in Baden-Württemberg, Regulatorik für Wasserstofftankstellen, Fahrzeuge und Wasserstoffverfügbarkeit sowie Förderkriterien – für den Aufbau eines initialen Netzes von HRS mit einem zeitlichen Zielhorizont bis 2035. Der derzeitige Fokus der Wasserstoffantriebstechniken liegt bei Brennstoffzellenantrieben (FC). Dennoch treffen die Aussagen in der Regel auch auf Wasserstoffverbrennungsmotoren zu, die derzeit ebenfalls in Entwicklung sind. Es beleuchtet in zwei Kapiteln den aktuellen Status (Kapitel 2) sowie die ermittelten Hemmnisse (Kapitel 3) und stellt dann die abgeleiteten Handlungsoptionen dar (Kapitel 4).

Die Ergebnisse dieses Ergebnispapiers entstammen zahlreichen Expertengesprächen oder Auswertungen derselben. Gesprächspartner sind überwiegend bei Infrastrukturbetreibern und Tankstellenherstellern, in der Fahrzeugindustrie, in der Logistik und in Beratungsunternehmen tätig oder sie sind Busbetreiber oder Anwender von Sonderfahrzeugen.

2. Status der Anwendung, Technik und Infrastruktur von LKW mit Wasserstoffantrieb

Zunächst erfolgt eine detaillierte Betrachtung der auf Brennstoffzellen basierenden Wasserstoffmobilität im Schwerlastverkehr. Wo es inhaltlich sinnvoll und möglich ist, werden vergleichende Angaben für batterieelektrische Fahrzeuge (im Folgenden: BEV für Battery Electric Vehicle) erläutert.

Wasserstofftankstellen (HRS) werden entsprechend ihrer täglichen H₂-Abgabemenge in verschiedene Klassen eingeteilt.¹ Heutige Abgabemengen in Deutschland sind in der Regel deutlich kleiner als 1 t/Tag. Weitergehende Informationen zu HRS und Anforderungen finden sich auf der Webseite des Projektes „Tankstelle der Zukunft“ unter Federführung der Clean Energy Partnership (CEP).² Eine detaillierte Darstellung aller Betankungsoptionen mit Wasserstoff für den Schwerlastverkehr wurde im April 2023 durch die e-mobil BW GmbH vorgestellt.³

2.1 Fahrzeugverfügbarkeit

Schwere Nutzfahrzeuge >12 t

Für den Zeitraum bis 2030 veröffentlichte die Nationale Organisation für Wasserstoff (NOW) im Februar 2023 die Ergebnisse ihrer Cleanroom-Gespräche für den Markthochlauf in Deutschland von schweren Nutzfahrzeugen über 12 t mit klimafreundlichen alternativen Antrieben.⁴ Befragt wurden sowohl Hersteller, die 2022 ausschließlich auf batterieelektrische LKW (BEV-LKW) setzten, als auch Hersteller, die neben BEV parallel auch Brennstoffzellenantriebe entwickeln (FC-LKW). Der H₂-Motor wurde in diesen Gesprächen aus dem Jahr 2022 nicht berücksichtigt. Auch LKW mit Oberleitungstechnologie spielten in den Gesprächen nur eine untergeordnete Rolle.

Es ist festzuhalten, dass aufgrund ihrer Verfügbarkeit ab 2023 zunächst BEV-LKW stärker in den Markt eintreten werden. Ein Anstieg der Stückzahlen von LKW mit Brennstoffzellenantrieb wird erst für die zweite Hälfte des Jahrzehnts erwartet: Derzeit bietet nur Hyundai FC-LKW an, Iveco hat ein Sattelschlepper-Serienprodukt für Ende 2024, Daimler Truck für 2027, MAN eine sehr kleine Demonstrationsflotte für 2024 angekündigt. Neben klassischen OEM werden in Deutschland Fahrzeuge von Umrüstfirmen wie Paul Nutzfahrzeuge oder Start-up-Unternehmen wie Quantron und Zepp Solutions angeboten. Die Beiträge der einzelnen Firmen wurden nicht veröffentlicht, die gesamten Stückzahlen sind in Abbildung 1 dargestellt.

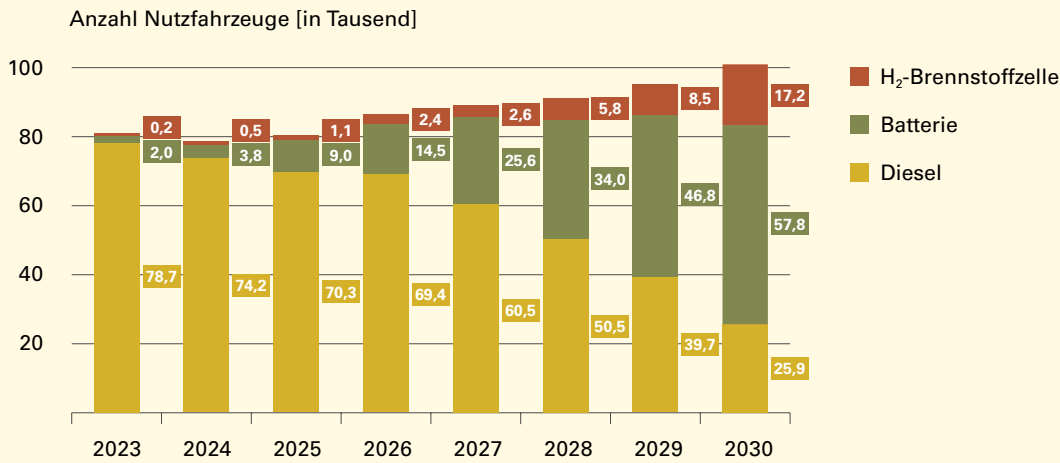
1 H2 Mobility Deutschland GmbH & Co. KG: [H2M_Ueberblick_BetankungsoptionenLNFSNF_TankRast_2021-10-21.pdf](#) ([h2-mobility.de](#))

2 [Tankstelle der Zukunft](#) ([tankstelle-der-zukunft.de](#))

3 e-mobil BW GmbH: [Perspektiven der H₂-Tankinfrastruktur im Fernverkehr](#) ([e-mobilbw.de](#))

4 Quelle NOW GmbH: [Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr.pdf](#) ([now-gmbh.de](#))

Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/>12 t)
in Deutschland laut Herstellerangaben



Hinweise zur Unsicherheit durch unvollständige Marktabdeckung:

- Angaben liegen nicht für alle Antriebsarten, Hersteller und Jahre vor
- Für die zweite Hälfte des Jahrzehnts liegt die Rückmeldungsquote bezogen auf die aktuellen Marktanteile bei 95 %
- Für die fossilen Antriebe lag die Rückmeldungsquote bei 2025 zwischen 70 und 90 %

Quelle: NOW GmbH, 2022: Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Strassengüterverkehr. Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugherstellern

Abbildung 1: Ergebnis der NOW-Cleanroom-Gespräche zu Hochlaufprognose schwerer Nutzfahrzeuge in Deutschland

Aufsummiert werden im Jahr 2030 ca. 200.000 BEV-LKW und 38.000 FC-LKW in Deutschland zugelassen sein. Der oben genannte spätere Markteintritt von FC-LKW zeigt sich auch bei der prozentualen Betrachtung der klimafreundlichen LKW-Fahrzeugbestände: Im Jahr 2025 werden ca. 12 % einen Brennstoffzellenantrieb aufweisen, im Jahr 2030 ca. 20 %.

Seitens der Clean Energy Partnership wird für 2035 bundesweit ein kumulierter Bestand von ca. 124.000 FC-LKW erwartet.⁵ Somit liegt ein erstes Szenario für den Markthochlauf vor. Es ist dennoch festzuhalten, dass eine echte Technologieerprobung erst mit diesem stattfinden kann.

Leichte Nutzfahrzeuge <12 t

Wie eingangs erwähnt, konzentrierten sich die Cleanroom-Gespräche nur auf Nutzfahrzeuge ab 12 t Gesamtgewicht. Damit werden kleine Vans und mittlere Transporter mit einem Gesamtgewicht von bis 5 t nicht betrachtet, obwohl diese für Kurieranwendungen mit sehr hohen Fahrleistungen und langen täglichen Fahrtzeiten, die nur kurze Betankungszeiten zulassen, ebenfalls für Brennstoffzellenantriebe geeignet sind. Zudem erlaubt Wasserstoffantrieb gewichtsbedingt ein höheres Verhältnis von Nutzlast zu Leergewicht und Wasserstoff bietet eine bessere Verfügbarkeit, da viele Depots oder auch Handwerksbe-

⁵ Markus Merkel, CEP & Spilett New Technologies GmbH: mündliche Kommunikation, am 14.03.2023, und [Herausforderungen – Tankstelle der Zukunft \(tankstelle-der-zukunft.de\)](https://www.tankstelle-der-zukunft.de)

triebe keine größere Ladeinfrastruktur aufbauen können oder werden^{6,7}. Daher sind erste FC-Serienprodukte bereits am Markt erhältlich bzw. Produkte verschiedener Hersteller befinden sich in Serienvorbereitung oder im Projektstatus. Ein Marktteilnehmer ist Hyvia (Joint Venture von Renault und PlugPower), die eine erste Version des Renault Master kommerziell in Frankreich und in den Niederlanden anbietet. Stellantis montiert seit 2023 eine geringe Stückzahl des Modells Opel Vivaro und plant für das Jahr 2024, an seinem Standort Hordain eine Kapazität von 10.000 Fahrzeugen dieser Plattform seiner Marken Citroën, Peugeot und Opel mit Brennstoffzellen-Range-Extender aufzubauen und die Fahrzeugpalette um einen größeren Van zu erweitern.⁸ Der Lieferant des FC-Antriebs Symbio (Joint Venture von Stellantis, Michelin und Faurecia) plant für das Jahr 2025, in seiner Fertigung in Saint-Fons bereits 50.000 Antriebe überwiegend für diese Fahrzeugklasse zu produzieren.⁹ Weitere Projekte wurden zur IAA2022 mit Fahrzeugen wie MAN Crafter oder Iveco Daily vorgestellt.

Brennstoffzellenbusse

Die Planungen für ÖPNV-Busse werden durch das Cluster Brennstoffzellenbusse verfolgt. Aktuell haben Verkehrsbetriebe in Deutschland und Südtirol 441 Busse in Betrieb oder bestellt und die Beschaffung von 548 Bussen beschlossen. Weitergehende Planungen bis 2030 werden in einer Befragung im Herbst 2023 ermittelt.¹⁰ Diese Fahrzeuge werden alle mit gasförmigem Wasserstoff mit Druckniveau 350 bar betankt. Ob ein Batterie- oder ein Brennstoffzellenantrieb zum Einsatz kommt, hängt insbesondere von der Routenplanung im Einsatz ab,¹¹ die wiederum maßgeblich von der Topografie der Fahrtrouten, der eingeplanten täglichen Servicezeit einschließlich Lade- oder Betankungszeiten¹² und dem Mehrbedarf an Fahrzeugen bestimmt wird. Für BEV-Busse beträgt die Reichweite in der Ebene aktuell ca. 280 bis 300 km, in hügeligem Gelände unter 200 km. Für beide Antriebsarten stellen Verfügbarkeit und Kosten für Strom und Wasserstoff in den Depots aktuell ein signifikantes Problem dar. Die Höhe des Strombedarfs für H₂-Tankstellen in Betriebshöfen wird mit Verzicht auf Vorkühlung als unkritisch betrachtet.¹³ Die Anwendung von Brennstoffzellen im ÖPNV-Bus kann aufgrund der langjährigen Projekte als technologisch abgesichert betrachtet werden.

Sonderfahrzeuge

Im Bereich kommunaler Fahrzeuge kommen derzeit zunehmend Abfallsammelfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb zur Anwendung. Dies ist begründet durch den sehr hohen Energiebedarf für die Müllverpressung von ca. 90 l Diesel/100 km. Mittels Batterieantrieb sind derzeitige Fahrtrouten oftmals nicht darstellbar und ein Laden während des Betriebs ist nicht möglich. Aufgrund dessen hat der Fahrzeughersteller Faun Enginuis nach Abschluss der Vorserienphase eine Produktion unter Serienbedingungen aufgenommen. Er plant, in den kommenden Jahren jährlich bis zu etwa 400 Fahrzeuge herzustellen, was etwa den Jahresbedarf für Deutschland darstellt.¹⁴

6 Alexander Peglow, Audi AG, Technologiezentrum Wasserstoff, Konzerngeschäftsstelle Brennstoffzelle – Referent für öffentlichkeitswirksame Gremienarbeit: mündliche Kommunikation, 21.07.2023.

7 L. P. Thiesen, Adam Opel AG, 19.09.2023: BMDV Fachkonferenz zu Wasserstoff in der Mobilität.

8 Quelle Stellantis, 27.10.2022: Stellantis Hordain: First Plant in the World to Produce Hydrogen-powered, Electric and Combustion Engine Commercial Vehicles | Stellantis

9 Quelle Symbio: [EN-20230516-Symbio-Joint-Announcement-FINAL.pdf](#)

10 Dr. Frank Koch, energy engineers GmbH, mündliche Kommunikation, 14.08.2023.

11 Jens Conrad, everfuel GmbH: mündliche Kommunikation, 20.04.2023 und 14.06.2023. Angaben zu Reichweiten und Mehrbedarf an Fahrzeugen, wonach längere Ladezeiten zu bis zu etwa 50 % höherem Fahrzeug- und Personalbedarf führen können. Auch bei kleineren Betreibern ist die Routenplanung optimiert und daher nicht einfach umstellbar.

12 Markus Modlmaier, SSB AG: mündliche Kommunikation, 29.06.2023. Diese Servicezeit beträgt für diesen Betreiber ca. 9 Minuten.

13 M. Wiedemann, SSB AG: Strombedarf in einer Depottankstelle liegt bei 100 kW für eine Betankungskapazität von 500 kg H₂/Tag, was ca. 25 Busse versorgt; persönliche Kommunikation, 15.08.2023.

14 Peter Nebel, Wirtschaftsbetrieb Ludwigshafen GmbH: mündliche Kommunikation, 21.07.2023. Thomas Ehrenfelder, Abfallwirtschaft Freiburg: mündliche Kommunikation, 26.09.2023.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass in den kommenden Jahren Fahrzeuge für verschiedene Nutzfahrzeuganwendungen in zunächst geringen Serienstückzahlen zur Anwendung kommen werden. Fahrzeughochlaufzahlen sind allerdings derzeit nicht fest planbar.

2.2 Bedarfsabschätzung

Aufgrund der Unsicherheit in der Fahrzeugverfügbarkeit kann ein Wasserstoffbedarf für die Mobilität aktuell nur abgeschätzt werden. Nachfolgend wird eine Methodik entwickelt, um basierend auf Annahmen einen Bedarf zu ermitteln.

Schwerlastverkehr

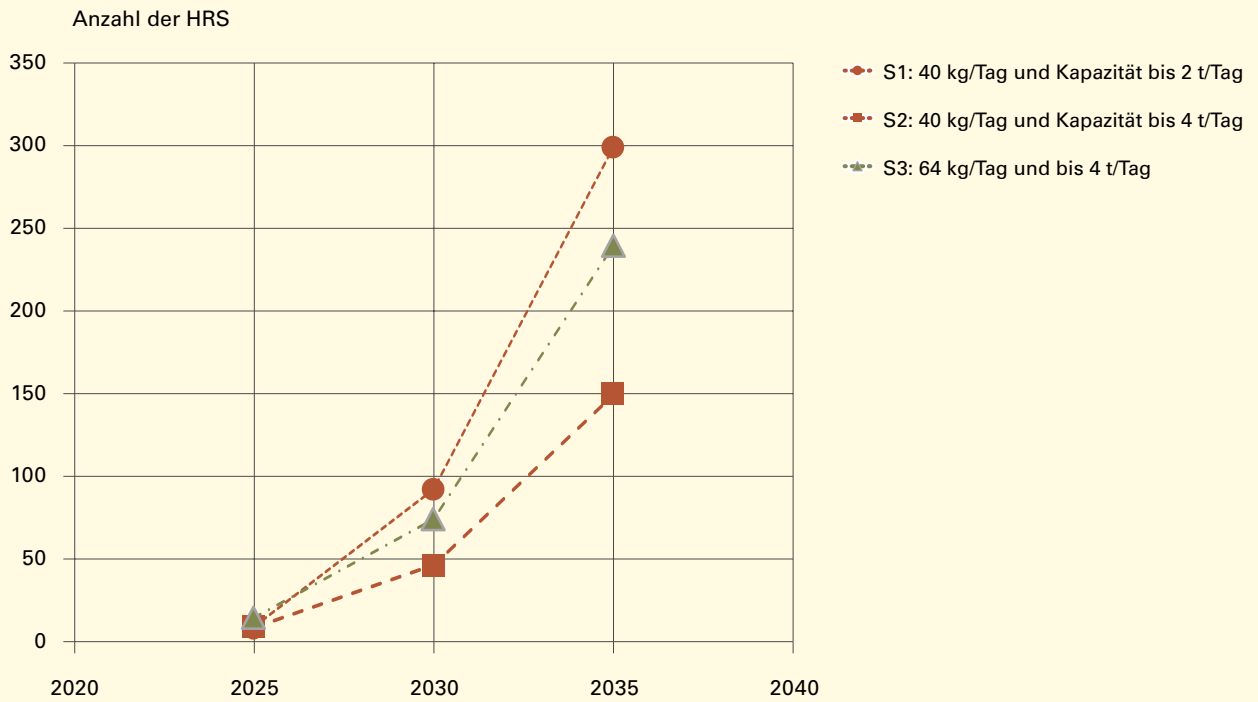
Der Anteil des Binnengüterverkehrs bzw. der zugelassenen LKW von Baden-Württemberg am gesamten Verkehr in Deutschland beträgt ca. 12,2 bzw. 11,8 %.¹⁵ Nachfolgend wird in bundesweit ermittelten Zahlen ein Anteil von 12 % für Baden-Württemberg berücksichtigt. Dies bedeutet für 2025 einen Gesamtbestand von ca. 220, für 2030 von ca. 4.650 und für 2035 von ca. 15.400 FC-LKW.

Betrachtung des täglichen Bedarfs

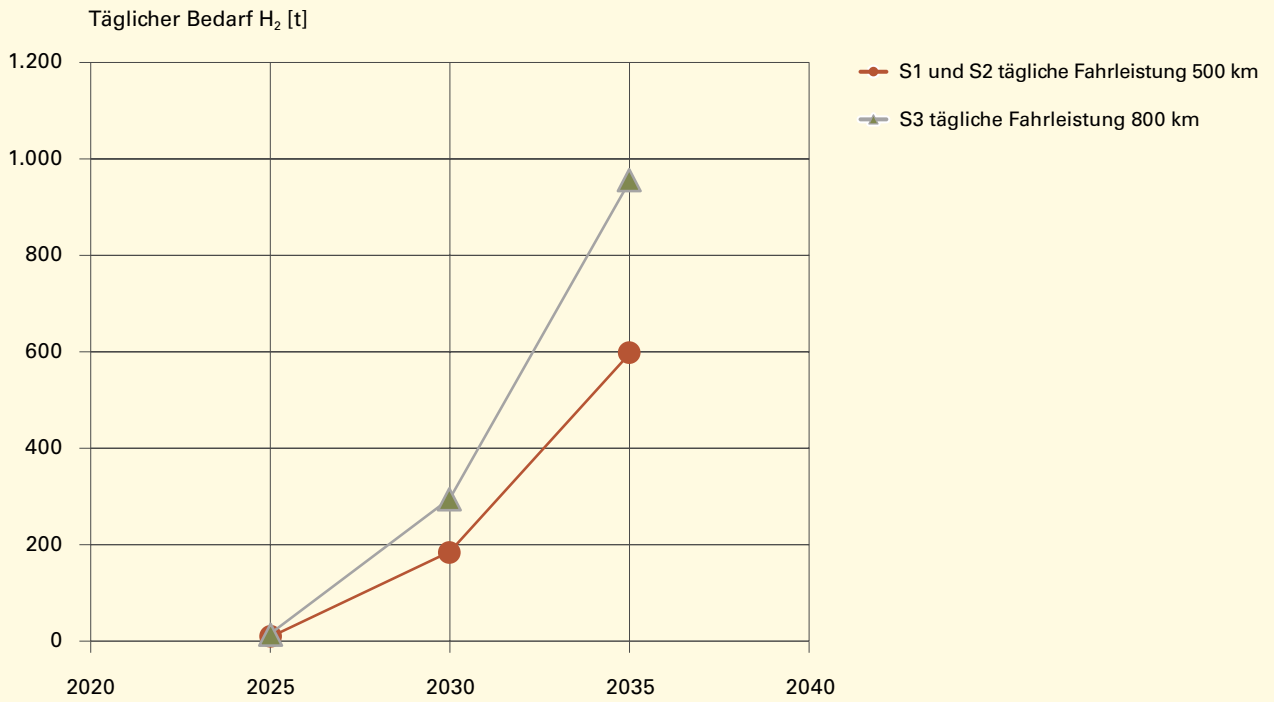
Für die Abschätzung der Anzahl der benötigten Tankstellen werden drei Szenarien angenommen, die sich in der täglichen Fahrleistung der LKW und der maximalen täglichen Abgabekapazität für H₂ der HRS unterscheiden. Die angenommenen Fahrleistungen betragen für die Szenarien 1 und 2 jeweils 500 km und für Szenario 3 800 km. Der Fahrzeugverbrauch wurde konstant mit 8 kg/100 km Fahrleistung angenommen. Die maximale Kapazität der Tankstelle wurde für das Jahr 2025 mit 1 t/Tag angenommen (eine höhere Kapazität wird 2025 eine Ausnahme darstellen). Für 2030 und 2035 wurden Tankstellenkapazitäten von 2 t/Tag (Szenarien 1 und 2) und 4 t/Tag (Szenario 3) betrachtet. Abbildung 2a zeigt für den Schwerlastverkehr in Baden-Württemberg die ermittelten Anzahlen an HRS, Abbildung 2b die hierfür benötigten täglichen Bedarfsmengen in Tonnen Wasserstoff.

¹⁵ Quellen: Gütermengen: Statistisches Landesamt Baden-Württemberg: [Beförderte Güter in Baden-Württemberg nach Verkehrsträgern \(statistik-bw.de\)](http://statistik-bw.de); Zulassungszahlen: [Kraftfahrt-Bundesamt - Fahrzeugklassen und Aufbauarten - Bestand nach Fahrzeugklassen und Aufbauarten \(kba.de\)](http://kba.de)

2a) Abschätzung der Anzahl der H₂-Tankstellen in Baden-Württemberg



2b) Abschätzung täglicher H₂-Bedarf für den Schwerlastverkehr in Baden-Württemberg



Quelle: eigene Daten

Abbildung 2: Abschätzung der Anzahl der H₂-Tankstellen und des täglichen H₂-Bedarfs für den Schwerlastverkehr in Baden-Württemberg

Betrachtung des jährlichen Bedarfs

Bei der Annahme einer jährlichen Laufleistung von 120.000 km ergeben sich für diese Fahrzeugstückzahlen für Wasserstoff-Schwerlastverkehr in Baden-Württemberg für das Jahr 2025 Bedarfe von ca. 2.100 t, für 2030 von ca. 44.000 t und für 2035 von ca. 143.000 t Wasserstoff. Daimler Truck hat jüngst für 2030 einen jährlichen Wasserstoffbedarf für den Schwerlastverkehr in Deutschland von 400.000 t abgeschätzt.¹⁶ Auf Baden-Württemberg umgerechnet ergeben sich mit 48.000 Jahrestonnen sehr vergleichbare Zahlen (12 % Verkehrsanteil).

ÖPNV-Busverkehr

Wie oben erwähnt wird für 2026 deutschlandweit mit 900 Bussen gerechnet, längerfristige Zahlen liegen derzeit nicht vor. Unter der Annahme eines H₂-Tagesbedarfs von 25 kg pro Fahrzeug und der Annahme eines 20-prozentigen Anteils von Fahrzeugen in Baden-Württemberg ergibt sich ein Gesamt-Wasserstoffbedarf von ca. 4,5 t H₂ pro Tag, der durch die Kapazität von vier bis fünf Tankstellen gedeckt werden könnte. Dies verdeutlicht, dass Busverkehr deutlich weniger Infrastrukturaufbau erfordert. Busflotten werden derzeit ausschließlich mit Unterstützung durch öffentliche Fördermittel beschafft. Mittlerweile sind die Stückzahlen ausreichend groß, so dass in der Regel auch Tankstellen auf Betriebshöfen mitaufgebaut werden oder in der Nähe befindliche H₂-Tankstellen für die Betankung von Bussen ertüchtigt werden. Daher ist im Gegensatz zum Schwerlastverkehr der Aufbau von weiteren Tankstellen speziell für Busse von geringer Priorität.

Aktuell ist in Baden-Württemberg nur eine kleine Busflotte im Betrieb bzw. zwei weitere befinden sich im Aufbau. Langjährige Erfahrungen liegen bei den Stuttgarter Straßenbahnen (SSB) vor, die seit Anfang der 2000er Jahre verschiedene Busmodelle im Einsatz haben und 2023 acht neue Busse in Betrieb nehmen. Für die identifizierten Busrouten mit längeren täglichen Strecken sind kurzfristig um die 30 Fahrzeuge vorgesehen. Eine größere Flotte geht derzeit im Verkehrsverbund Rhein-Neckar mit 48 Gelenkbussen in Betrieb und in Waiblingen sind zehn Fahrzeuge in Planung. Diese Busflotten werden in der Regel an Depottankstellen versorgt. Weitere Betriebe zeigen Interesse, aber konkrete Planungen liegen noch nicht vor. Sehr nachgelagert ist der H₂-Bedarf für kommunale Fahrzeuge wie Abfallsammler. Es ist nicht mit einer Fahrzeuganzahl zu rechnen, die diesen H₂-Bedarf und damit die Infrastruktur signifikant beeinflusst. Diese Fahrzeuge können aufgrund ihrer relativ kleinen Tanks auch auf die bestehenden H₂-Tankstellen für PKW zugreifen.

2.3 Status der Aufbauvorgaben und der Aufbauplanung von H₂-Tankstellen

Die europäischen Vorgaben für den Infrastrukturaufbau für klimaneutrale Antriebe, genannt AFIR (Alternative Fuel Infrastructure Regulation), haben Pioniercharakter, da es bislang weltweit keine vergleichbaren Vorgaben gibt. Am 25. Juli 2023 wurden diese Vorgaben durch den europäischen Rat angenommen.

Für den Schwerlastverkehr werden nachfolgende Vorgaben bezüglich Ladeinfrastruktur und H₂-Tankstellen gemacht.¹⁷ Zu beachten ist, dass die Vorgaben für H₂-Tankstellen im Gegensatz zur Ladeinfrastruktur lediglich das TEN-T Kernnetz fas-

¹⁶ M. Schuckert, Daimler Truck AG: Präsentation auf NOW Fachkonferenz Wasserstoff in der Mobilität, Berlin, 19.09.2023.

¹⁷ Quelle: [Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe - Consilium \(europa.eu\)](#)

sen. Damit ist für Deutschland gemäß AFIR der Aufbau von 109 H₂-Tankstellen und für Baden-Württemberg von neun Stationen notwendig. Diese geringe Anzahl wird mit großer Wahrscheinlichkeit für Deutschland oder Baden-Württemberg keine Herausforderung sein. Die Rolle von AFIR ist aus europäischer Sicht von großer Bedeutung, denn sie erlaubt einen Betrieb über Landesgrenzen hinweg und ist für Länder ohne heutige H₂-Infrastruktur ein bedeutender Anschlag.

- recharging stations for **heavy-duty vehicles** with a minimum output of 350 kW need to be deployed every **60 km** along the TEN-T core network, and every **100 km** on the larger TENT-T comprehensive network from 2025 onwards, with complete network coverage by **2030**
- **hydrogen refuelling** stations serving both cars and lorries must be deployed from 2030 onwards in all urban nodes and every **200 km** along the TEN-T core network

Quelle: Rat der Europäischen Union, Pressemitteilung vom 25.07.2023: Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe

Abbildung 3: AFIR-Vorgaben für den den BEV- und den FC-Schwerlastkehr

Mit Stand Juli 2023 wurden von e-mobil BW sechs Tankstellenbetreiber bezüglich ihrer Planung in Baden-Württemberg bis 2030 befragt. Das Ergebnis ist im Ergebnispapier „Vermerk_Misson4_Transport_final“ vom 05.07.2023 detailliert beschrieben. Das Ergebnispapier wurde aktualisiert. Unverändert zeigt sich, dass aus derzeitiger Sicht bis 2030 für Baden-Württemberg nicht mit einem flächendeckenden Netz zu rechnen ist. Die aktuellen Planungen konzentrieren sich auf die Metropolregionen mittlerer Neckar (Stuttgart, Esslingen, Sindelfingen, Waiblingen, Schwäbisch Gmünd und Metzingen) und Rhein-Neckar (Mannheim, Ludwigshafen, Heidelberg, Frankenthal sowie Standorte entlang der Autobahnen A 8 (zwischen Pforzheim und Günzburg), A 5 (zwischen Darmstadt und Heidelberg sowie Offenburg bis Freiburg), A 6 (Bad Rappenau und Satteldorf), A 7 (zwischen Giengen und Ellwangen bzw. Illertissen, Vöhringen und Memmingen auf der bayerischen Seite) und A 81 (Sindelfingen, Sulz, Villingen). Darüber hinaus sind gegenwärtig nur wenige Standorte geplant: Albbruck am Oberrhein, Tübingen, Weingarten oder Achstetten.

2022 wurden seitens des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) für bestehende HRS zusätzliche Investitionsmittel freigegeben. Diese erlauben, einige der heutigen nur für PKW einsatzfähigen HRS mit zusätzlichen 350-bar-Dispensern auszurüsten, was dann eine LKW-Betankung an diesen Standorten erlaubt. Diese erweiterten Tankstellen sind bis Ende 2024 für Nutzfahrzeuge verfügbar. Mit der neuen Ausschreibung des BMDV sind deutschlandweit 61 neue HRS-Standorte für LKW definiert, davon drei in Baden-Württemberg. Diese Tankstellen haben eine tägliche Kapazität von 2 t Wasserstoff und somit können mit diesen neuen Standorten je nach täglicher Fahrleistung ca. 2.000 bis 3.000 LKW betankt werden. Voraussichtlich im ersten Quartal 2024 wird ein weiterer Förderaufruf gestartet. Zusammen mit den HRS-Förderungen der Bundesländer einschließlich Baden-Württemberg ist somit eine bundesweite Abbildung der AFIR-Anforderungen sehr realistisch. Eine aktuelle Übersicht der Planungen bis 2026 zeigt Abbildung 4. Aufgrund der Dynamik der Projekte wird e-mobil BW diese Standortübersicht aktualisiert halten.

Seitens der Fahrzeugindustrie werden deutlich mehr HRS für kommerziell nutzbare Netzbindung als notwendig erachtet. Der Europäische Automobilherstellerverband Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (ACEA) betrachtet für den Fernverkehr in der Fläche einen maximalen Abstand von 100 km zwischen den Tankstellen als erforderlich. Diese sollen nicht nur auf dem TEN-V Kernnetz, sondern auch auf dem erweiterten (comprehensive) TEN-V Netz installiert sein.¹⁸

Eine mittel- bis längerfristige Standortplanung bedingt eine planbare Verfügbarkeit von ausreichend Fahrzeugen (siehe auch Kapitel 3.2 Fahrzeugverfügbarkeit). Solange diese aus Sicht der HRS-Betreiber nicht umgesetzt ist, bleiben mittel- bis längerfristige Standortplanungen schwierig. Dennoch beurteilen verschiedene Tankstellenbetreiber die Ausbildung eines flächendeckenden Netzes, das alle Autobahnen und wichtigen Bundesstraßen sowie alle städtischen Bereiche umfasst, spätestens für das Jahr 2035 als realistisch. Weiter wird für städtische oder auch wichtige Logistikzentren angenommen, dass Redundanzen vorliegen, um auch bei Störungen einen Betrieb aufrechterhalten zu können.¹⁹

Nach jetzigem Planungsstand kann davon ausgegangen werden, dass 2035 in Baden-Württemberg die ersten H₂-Pipelines in Betrieb sind. Abbildung 5 zeigt den Netzausbau entsprechend der Planung von terranets BW für Baden-Württemberg.²⁰ Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von lokaler H₂-Erzeugung für die Versorgung der Mobilität. Wo ein Angebot aus einer Pipeline in Frage kommt, muss der Wasserstoff entsprechend den Brennstoffzellenanforderungen gereinigt werden.

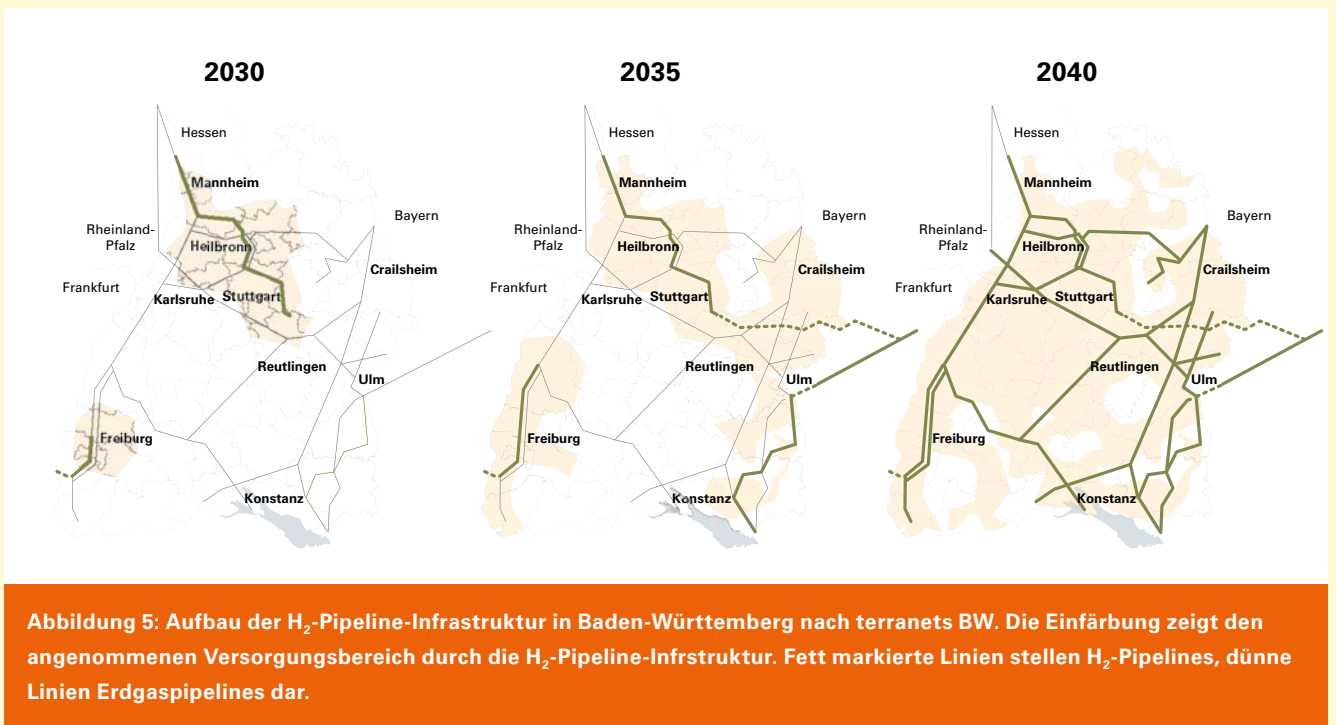
18 ACEA Pressemitteilung, 12.12.2022: [Hydrogen infrastructure: more ambition needed - ACEA - European Automobile Manufacturers' Association](#)

19 E. Hof, JetH2energy, 09.08.2023, und F. Schulte-Wintrop, H2Mobility, 13.10.2023, R. Kirchner, TotalEnergies, 12.10.2023; jeweils persönliche Kommunikation.

20 Quelle: terranets bw: [Unser Beitrag zur Energiezukunft für Deutschland \(terranets-bw.de\)](#)



Abbildung 4: H₂-Tankstellen für Nutzfahrzeuge in Baden-Württemberg und Umgebung mit Jahreszahl der geplanten Inbetriebnahme bis 2026. Transparente Symbole zeigen Standorte außerhalb Baden-Württembergs (Bundesautobahnen blau dargestellt, Bundesstraßen orange).



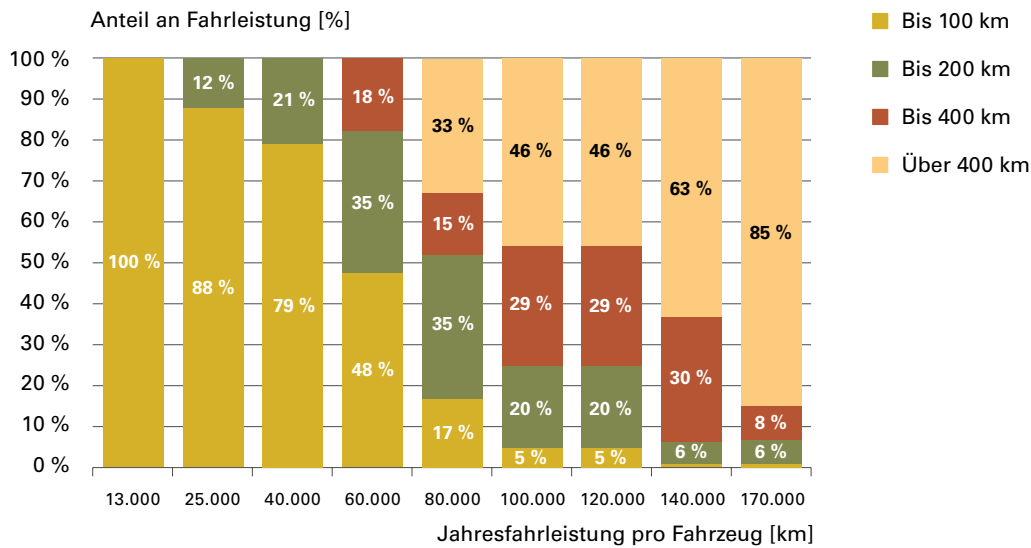
2.4 Anwendung Mobilität, Logistik und ÖPNV

Die in Abbildung 5 dargestellte Infrastrukturplanung verdeutlicht, dass Speditionen bis 2030 nicht mit einem flächendeckenden H₂-Tankstellennetz rechnen können. Vielmehr sind sie auf lokale oder regionale Tankstellenstandorte angewiesen und müssen ihre Routen daher überwiegend auf Reichweiten um ihnen oder zwischen diesen Standorten planen. Erst mit weiteren Standorten und dem Aufbau eines flächendeckenden Netzes werden freie Routenwahlen realisierbar. Damit kann aus heutiger Sicht etwa bis 2035 gerechnet werden.

Wasserstoff-Bedarfsplanungen sind derzeit nur rudimentär von wenigen Logistikunternehmen bekannt. Andererseits wächst mit Inkrafttreten der RED-III-Vorgaben für den Verkehrssektor²¹ der zukünftige Logistikbranchenbedarf an klimaneutralen Fahrzeugen erheblich. Dieser Widerspruch ist aktuell ungeklärt. Daher kann die derzeitige Situation für FC-LKW als eine Projektsituation beschrieben werden, bei der für einzelne Tankstelleninfrastrukturpläne lokal eine begrenzte Fahrzeugzahl mit einzelnen Logistikunternehmen geplant ist. Eine systematische Bedarfsermittlung auf Basis systematischer Befragungen erfolgte noch nicht. Reichweitenanforderungen sind in der Diskussion klimaneutraler Antriebe für den Güterstraßenverkehr von großer Wichtigkeit. Abbildung 6 verdeutlicht, dass bei Jahresfahrleistungen über 100.000 km Reichweiten von über 400 km dominant werden.²²

²¹ Im Verkehrssektor erhöht sich das verbindliche Einsparungsziel von THG bis 2030 auf 29 %, was einem THG-Reduktionsziel durch erneuerbare Energien von 14,5 % entspricht. RED III: Neue EU-Richtlinie für erneuerbare Energien beschlossen - IHK Lippe zu Detmold

²² Öko-Institut e. V., 29.08.2023: StratES-Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs.



Quelle: Öko-Institut e.V., 29.08.2023; StratES - Szenarien für die Elektrifizierung des Straßengüterverkehrs

Abbildung 6: Gewichtung der Reichweitenklassen des Straßengüterverkehrs in Deutschland

Ähnlich zur Logistik verhält es sich im ÖPNV. Die ersten wirklichen Flotten gehen gegenwärtig in Betrieb oder sind erst seit Kurzen im Betrieb. Die Projekte H2Rhein-Neckar und H2Rivers mit der derzeit in Auslieferung befindlichen 58 Bussen werden einen wichtigen Erkenntnisgewinn erlauben, da diese Flotte erstmals mit einer engmaschigen Begleitforschung ausgewertet wird.

2.5 Stand der Technik für Nutzfahrzeug-Tankstellen

Der Stand der für Nutzfahrzeuge geeigneten Tankstellentechnik wurde aktuell in einer Studie bewertet.²³ Aktuell steht nur eine Betankungsoption mit gasförmigem 350-bar-Wasserstoff (CGH₂ 350 P) mit nachgewiesener Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit im täglichen Einsatz zur Verfügung. Diese erlaubt mit heute verfügbaren Fahrzeugen jedoch nur maximale Reichweiten von ca. 450 km. Die für den Schwerlastverkehr geforderten Reichweiten von 800 bis 1.000 km können folglich nicht erreicht werden. Es ist hier zu beachten, dass heutige LKW auf Dieselchassis aufbauen und in der Anordnung von H₂-Speichertanks limitiert sind. Hierfür stehen verschiedene Optionen zur Verfügung. Die am weitesten entwickelte verwendet gasförmigen Wasserstoff mit 700 bar (CGH₂ 700 P, compressed gaseous hydrogen). Die anderen Technologien basieren auf tiefkaltem flüssigem Wasserstoff (sLH₂, subcooled liquid hydrogen) oder auf tiefkaltem Druckwasserstoff (CcH₂, cryo-compressed hydrogen). Sichere, schnelle und vollständige Betankungen erfordern definierte H₂-Betankungsprotokolle. Diese sind

²³ e-mobil BW GmbH, März 2023: „H₂-Infrastruktur für Nutzfahrzeuge im Fernverkehr: Aktueller Entwicklungsstand und Perspektiven“, Ludwig Bölkow Systemtechnik GmbH (Hauptautor Jan Zerhusen), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – Institut für Fahrzeugkonzepte (Hauptautor Matthias Böhm).

für keine dieser Technologien ausreichend erprobt, mit Normen abgesichert und standardisiert.²⁴ Eine fehlende Normierung betrifft insbesondere das Betankungsprotokoll und die Füllkupplungen vom Fahrzeug zum Dispenser. Außerdem ist die Einsatzfähigkeit einzelner kritischer Komponenten, wie z. B. Kompressoren für 900 bar Speicherdruck, zu erbringen. Schließlich ist der Nachweis der Fähigkeit zur sogenannten „Back to back“-Betankung von mehreren Schwerlastfahrzeugen unmittelbar hintereinander nicht erbracht. Eine Einigung der Fahrzeughersteller auf eine der beschriebenen Betankungsoptionen steht noch aus.

24 Rolf Huber, H2energy AG, 14.08.2023: Die Verfügbarkeit der H₂-Tankstellen im 350-bar-Tankstellennetz in der Schweiz beträgt aktuell 97 %. Kommentar: Für 700 bar liegt derzeit noch keine vergleichende Datenbasis vor.

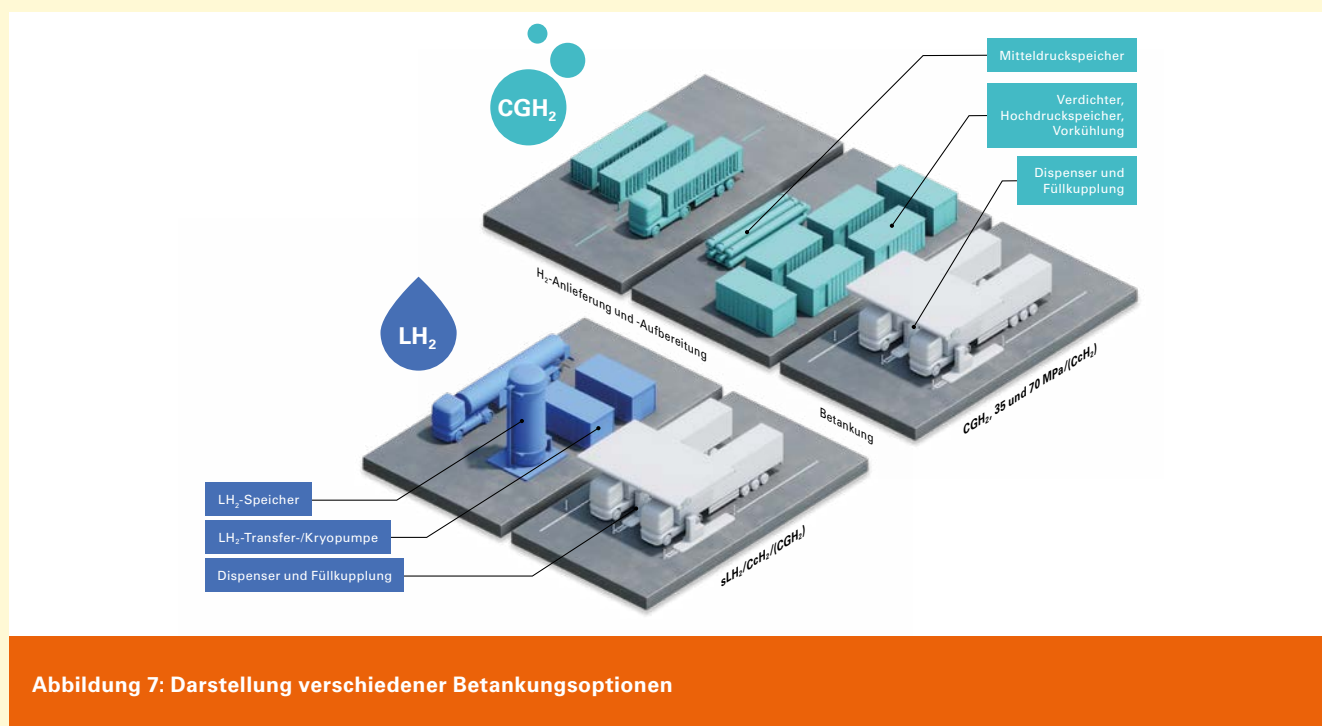


Abbildung 7: Darstellung verschiedener Betankungsoptionen

Der optimale Versorgungspfad einer HRS hängt von der Kapazität und dem Standort ab. Die aus wirtschaftlicher Perspektive angestrebten Kapazitäten künftiger HRS für LKW liegen im Bereich von mehreren Tonnen pro Tag. Dies erfordert passende H₂-Versorgungspfade, die standortspezifisch bewertet, konzipiert, projiziert und umgesetzt werden müssen. Die Bandbreite reicht von der heutigen Trailerversorgung mit einer maximalen Kapazität von ca. 1,2 t Wasserstoff (erlaubt die Betankung von etwa 15 Langstecken-LKW mit Verbrauch von 8 kg H₂/100 km) über tiefkalten flüssigen Wasserstoff mit maximal 4 t Transportkapazität, was etwa 50 Betankungen entspricht, bis hin zu Vor-Ort-Produktion mittels Elektrolyse. Bei sehr hohen Abnahmemengen ist ein lokaler oder regionaler Pipelineanschluss wirtschaftlich, weshalb ggf. weitere H₂-Abnehmer zu berücksichtigen sind. Bei dieser Option ist zu beachten, dass Wasserstoff aus Pipelinetransport nicht den Reinheitsanforderungen von Brennstoffzellen genügt und für diesen Einsatz erst einer Reinigungsstufe unterzogen werden muss.

3. Hemmnisse

3.1 Technische Hemmnisse an Tankstellen

Wie in Kapitel 2 ausgeführt, steht aktuell nur eine Tanktechnik für Kurz- und Mittelstrecken-LKW, nicht aber für den Langstreckenverkehr zur Verfügung. Alle hierfür geeigneten drei Optionen sind in der Entwicklung und zum Teil noch weit von einer Industrialisierung entfernt. Zeitlich am nächsten einer nachgewiesenen Zuverlässigkeit ist die 700-bar-Technik, für die erste Tankstellen aufgebaut sind. Die Erprobung von Tankprotokollen wird in Anlehnung an die erwartete internationale Normierung betrieben, einschließlich der seriellen Durchführung von mehreren Betankungen mit ca. 60–70 kg. Eine ursprünglich für Ende 2024 geplante Veröffentlichung des entsprechenden ISO-normierten Betankungsprotokolls wird erst im Frühjahr 2025 vereinbart sein.²⁵ In der Zwischenzeit arbeiten verschiedene Anwender mit derzeit vorliegenden Protokollen, die jedoch nicht die angestrebten Betankungszeiten von ca. 15 Minuten für ca. 60 kg Füllmenge erlauben.²⁶

Auch Füllkupplungen zwischen Dispenser und Fahrzeug sind derzeit noch nicht standardisiert. Für LKW-taugliche 700-bar-Technik existieren mittlerweile erste Prototypen, deren Kompatibilität zu 350-bar-Kupplungen aber z. B. noch nicht definiert ist. Die internationale Normierung der finalen Betankungskupplungen ist jedoch schnellstmöglich anzustreben, denn für eine Interoperabilität ist dies zwingende Voraussetzung.¹⁹

Eine wichtige Komponente sind für große Abgabemengen geeignete 900-bar-Kompressoren. Die für die PKW-Betankung verwendeten Bauarten sind sowohl hinsichtlich der Mengen als auch der Zuverlässigkeit im Betrieb derzeit nicht geeignet. Für den Betankungsvorgang ist eine Kommunikation zwischen Fahrzeug und Tankstelle notwendig. Die hierzu geeigneten Schnittstellen sind in der Entwicklung und daher auch noch nicht standardisiert.

Für die Betankung mit 700-bar-Druckwasserstoff sind die Erprobung von standardisierten Protokollen und neuen Komponenten im täglichen Betrieb wesentliche Grundlagen für die langfristige Gewährleistung einer leistungsfähigen und zuverlässigen Wasserstoffinfrastruktur.

Für die beiden Alternativtechnologien tiefkalter flüssiger Wasserstoff und kalter Druckwasserstoff sind sowohl Betankungsprotokoll als auch wesentliche Komponenten noch nicht ausentwickelt. Generell werden die Komponentenverfügbarkeit und der Technologie-Reifegrad für beide Technologien von vielen Marktteilnehmern deutlich niedriger als bei gasförmigem 700-bar-Wasserstoff bewertet.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass bis 2025 nur einzelne weitere langstreckengeeignete 700-bar-Tankstellen zu erwarten sind. Eine Einführung in größerem Umfang ist erst ab 2026 zu erwarten. Die Zeithorizonte für die alternativen Technologien sind längerfristig, eine nennenswerte Einführung ist erst nach 2030 zu erwarten. Eine Technologieabsicherung mittels weiterer Demonstrationsanlagen ist vor diesem Hintergrund unbedingt erforderlich und sollte zeitnah geplant und umgesetzt

²⁵ F. Duran, Iveco AG: mündliche Kommunikation, 20.07.2023; Paul Karzel, Lifeth2: BMDV Fachkonferenz Wasserstoff in der Mobilität, 19.09.2023.

²⁶ F. Duran, Iveco AG: mündliche Kommunikation, 20.07.2023; E. Hof, JetH2energy GmbH: mündliche Kommunikation, 09.08.2023.

werden. Eine erste Demonstrationsanlage wurde in Crawley (London) für eine mit flüssigem Wasserstoff betriebene Busflotte im Juli 2023 durch Air Products in Betrieb genommen.

Fehlende Standardisierung besteht schließlich bezüglich der Anschlüsse von Trailer zu Tankstelleneingang. Derzeit kann jeder Trailerbetreiber seinen eigenen Anschluss definieren, was ggf. Abhängigkeiten in Bezug auf Wasserstofflieferungen erzeugen könnte.

3.2 Fahrzeugverfügbarkeit

Seitens HRS-Betreibern wird die derzeitige geringe Verfügbarkeit von Fahrzeugen generell als Hemmnis für den Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur genannt.

Schwerlastverkehr

Heute ist in größerer Stückzahl lediglich ein Nutzfahrzeug von Hyundai als Serienfahrzeug verfügbar (max. Gesamtgewicht 36 t). Verschiedene OEM haben die Vorstellung von Serienfahrzeugen ab 2024 angekündigt, wobei wie eingangs beschrieben ein echter Hochlauf erst Ende des Jahrzehnts beginnt. Beispiele sind Sattelschlepper von Iveco (ab 2025), von Daimler Truck (ab 2027) oder Quantron (bisher lediglich Prototyp verfügbar). Marktseitig werden seitens Speditionen insbesondere Sattelschlepper, auch als Low-Liner-Varianten (z. B. im Transportbereich für die Automobilindustrie), und in zweiter Linie auch Standard-LKW-Aufbauten gefordert.^{27, 28} Die geringe Verfügbarkeit und die geringe Anzahl an Fahrzeugvarianten sind aus Anwendersicht kritisch für den Markthochlauf – und den Herstellern bewusst. Auch für Baustellenfahrzeuge wie Kipper, Fahrzeuge für die Landwirtschaft oder Fahrzeuge mit Aufbaukränen oder Nebenaggregaten, wie zum Beispiel Antriebs-schnecken, besteht derzeit noch kein Angebot.

Zusammenfassend ist die aktuell begrenzte Fahrzeugverfügbarkeit und damit verbunden die Preissituation insbesondere für den Schwerlastverkehr hemmend, eine Verbesserung diesbezüglich ist erst Ende des Jahrzehnts zu erwarten. Ergänzende Fahrzeugangebote von Spezialfahrzeugbauern wie Paul Nutzfahrzeuge können hier aufgrund ihrer technischen Restriktionen lediglich in Teilbereichen entgegenwirken.

Kommunale Fahrzeuge

Ein Müllsammelfahrzeug wird von Faun Enginius als Serienprodukt angeboten, ein weiterer Hersteller hat für 2024 ein Fahrzeug angekündigt. Das Haupthemmnis ist auch hier der Preis, weshalb eine Beschaffung nur mit Förderung möglich ist. BEV-Antriebe werden als eingeschränkt geeignet beschrieben aufgrund des sehr hohen Energiebedarfs trotz geringer Reichweite und auch von lokalen Einschränkungen der Ladeinfrastruktur. Der durchschnittliche Tagesbedarf liegt bei 11 kg H₂,

²⁷ Von Anwendersseite wird ein Marktanteil des Low-Liner-Sattelschleppers von 30 % genannt; solche Fahrzeuge werden oft auf ausgeschriebenen Routen z. B. zwischen Fertigungsstandorten eingesetzt.

²⁸ E. Hof, JetH2Energy GmbH: persönliche Kommunikation, 09.08.2023; O. Gutt: GP Joule Hydrogen GmbH: persönliche Kommunikation, 01.08.2023.

was an 700-bar-PKW-Tankstellen bedient werden kann (allerdings mit anderer Tankkupplung als zukünftig für LKW, siehe oben). Einen Bedarf sehen kommunale Betriebe auch für andere Fahrzeuge, insbesondere wenn Nebenaggregate oder eine Anhängelast gefordert ist. Konkrete Planungen existieren wegen des fehlenden Angebots jedoch derzeit nicht.

ÖPNV – Busse

Auf dem europäischen Markt bieten mittlerweile verschiedene Hersteller einige 12- und 18-m-Stadtbusse an. Dies hat die Projektrealisierung gegenüber den 2010er-Jahren deutlich stabilisiert. Die größte europäische H₂-Busflotte hat der Regionalverkehr Köln mit aktuell 72 Fahrzeugen in Betrieb. Dieser Betreiber ist auch derjenige mit der längsten Betriebserfahrung, da er einzelne Busse im Jahr 2010 und die erste kleinere Flotte ab ca. 2015 in den Linienbetrieb genommen hat. 2024 wird diese Flotte auf 100 Fahrzeuge aufgestockt. Weitere existierende Flotten mit einer zweistelligen Fahrzeuganzahl bestehen in Wuppertal, Düsseldorf, London und Aberdeen. In Baden-Württemberg liegt langjährige Erfahrung auf Seiten der SSB AG in Stuttgart vor, allerdings nur mit wenigen Bussen. Ab Oktober 2023 wird – über das SDA-Projekt H2Rhein-Neckar gefördert – von der Rhein-Neckar Verkehr GmbH in Mannheim, Heidelberg und Ludwigshafen eine Flotte von 48 Brennstoffzellen-Range-Extender-Bussen zum Einsatz kommen. Größere Flotten sind aktuell in Italien (Venedig und Bologna) und Frankreich (Straßburg) im Aufbau. Ein erstes Modell eines Überlandbusses wurde auf der Ausstellung Busworld im Oktober 2023 von Irizar gezeigt. Ein weiteres Modell wird von Caetano/Toyota 2024 vorgestellt.

3.3 Standortkriterien und Netzplanung in Baden-Württemberg

Einschließlich der 2023 getätigten Förderausschreibungen des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) sind lediglich sieben HRS für Nutzfahrzeuge entlang des TEN-V Kernnetzes in Baden-Württemberg geplant (A 8 zwischen Stuttgart und Ulm, sowie A 5 im Raum Mannheim/Heidelberg). Davon erfüllen fünf die AFIR-Anforderungen.²⁹ Im Zuge weiterer Ausschreibungen ist dennoch für Baden-Württemberg für 2030 zu erwarten, dass die grobmaschigen AFIR-Vorgaben für das TEN-V Kernnetz erreicht werden. Allerdings ist aus Sicht des BMDV und aller Marktteilnehmer damit kein ausreichender Anreiz zur Anschaffung und Nutzung von FCV-LKW gegeben.²⁹ Neben dem fehlenden Nachfrageanreiz werden auch standortspezifische Hemmnisse speziell für Süddeutschland und damit Baden-Württemberg genannt.

Als stark einschränkend wird übereinstimmend die in Baden-Württemberg begrenzte Flächenverfügbarkeit an verkehrlich geeigneten Standorten genannt, die mit bundesweit sehr hohen Grundstückspreisen verbunden sind. Existierende konventionelle Tankstellen – ideale Standorte an der Autobahn – haben oftmals keine verfügbaren Erweiterungsflächen. Verfügbare neue Flächen stehen jedoch oftmals im Wettbewerb mit Standorten für LKW-Ladeinfrastruktur und Parkplätzen der Logistikbranche. Dies kann dazu führen, dass schließlich ermittelte Standorte nur B-Qualität besitzen. Somit wird insbesondere für den süddeutschen Raum die Grundstücksverfügbarkeit als das stärkste Hemmnis bewertet und es wird um Unterstützung gebeten. Standorte müssen perspektivisch zudem für zunehmende Abnahmemengen und ggf. Tanktechnologieerweiterung

²⁹ B. Hoffmann, BMDV, BMDV Fachkonferenz Wasserstoff in der Mobilität, 19.09.2023.

ausbaufähig sein. Typische Mindestgrundstücksgrößen für Tankstellen mit einer Tageskapazität von 1 t H₂/Tag werden mit ca. 2.500 bis 3.000 m² beziffert,^{30 32} wenn je ein Dispenser pro Druckstufe aufgebaut wird. Der nächstgrößere Flächenbedarf wird mit ca. 3.500 m² angegeben (Tageskapazität 2 t H₂/Tag, je zwei Dispenser per Druckstufe),³¹ bei weniger geeignetem Grundstückszuschnitt auch 5.000 m².³²

Hinsichtlich der Lage werden Transit- und Hauptverkehrsachsen, die Nähe von Zu- und Abfahrten von Bundesautobahnen mit guter Sichtbarkeit und Anfahrtsmöglichkeiten bevorzugt. Weitere Präferenzen sind Gewerbegebiete mit bestehender Logistik oder logistiknahe Unternehmen, um Ankerkunden mit einbinden zu können. Ein weiteres Kriterium ist möglichst die Verfügbarkeit von mindestens einer weiteren Tankstelle im nahen Umkreis, damit bei einem Ausfall die H₂-Verfügbarkeit gewährleistet ist.

Tankstellen mit Druckwasserstoff haben einen erheblichen Strombedarf, insbesondere für die 700-bar-Betankung, aufgrund des Druckniveaus und der notwendigen Vorkühlung. Für mittelgroße Tankstellen werden Anschlusswerte von 750 kVA, bei größeren Anlagen 1,5 MVA benötigt,³¹ heutige Tankstellenplanungen sehen je nach Anlagenkapazität zwischen 300 und 500 kVA Anschlussleistung vor.³⁰ Zum Vergleich: Klassische Tankstellen weisen einen Anschlusswert zwischen 50 und 150 kW auf. Wird optional der Wasserstoff vor Ort mittels Elektrolyse erzeugt, ist entsprechend ein mehrfach höherer Anschlusswert notwendig. Ein Marktteilnehmer berichtet von Verzögerung der Inbetriebnahme aufgrund der Reservierung vorhandener Anschlussleistung für die Installation von Ladeinfrastruktur für PKW – auch hier ist ein Wettbewerb ähnlich zu dem der Grundstücksverfügbarkeit zu erkennen. Der Stromwettbewerb sowie Anschlusslimitierungen für größere H₂-Tankstellen können zukünftig bedeutende Hemmnisse darstellen. Der Einfluss der Gleichzeitigkeitsanforderung im Delegated Act der RED II wird nachfolgend beschrieben.

3.4 Regulatorik für HRS

Das aktuelle Genehmigungsverfahren und insbesondere die Genehmigungsdauern werden nahezu von allen Tankstellenprojektierern als ein großes Hemmnis betrachtet. Die Genehmigungsdauer einzelner HRS kann bis zu 1,5 Jahre betragen.³³ Dies führt unter anderem dazu, dass Genehmigungen die schnellen Fortschritte in der Tankstellentechnologie nicht berücksichtigen und somit veraltete Technik genehmigt wird.³⁴

Die derzeit in Baden-Württemberg in Betrieb befindlichen öffentlichen Tankstellen werden überwiegend von H₂ Mobility betrieben. Neue Antragsteller wie JetH₂energy, GP Joule Hydrogen, Shell, Total Energies und andere projektieren oder bauen aktuell ihre ersten Anlagen im Land. Somit sind hier landesspezifische Erfahrungen noch eingeschränkt. Vereinzelt liegt Erfahrung für Tankstellen in ÖPNV-Betriebshöfen vor.

30 E. Hof, JetH₂Energy GmbH, L. Thalheimer, GP Joule Hydrogen GmbH, J. Conrad, everfuel GmbH: mündliche Kommunikation, Juli 2023.

31 M. Merkel, CEP & Spilert New Technologies GmbH: [Herausforderungen – Tankstelle der Zukunft \(tankstelle-der-zukunft.de\)](https://www.tankstelle-der-zukunft.de)

32 F. Schulte-Wintrop, H₂ Mobility: persönliche Kommunikation, 25.09.2023.

33 R. Juppe, Total Energies Marketing Deutschland GmbH: persönliche Kommunikation, 23.06.2023.

34 M. Kurras, Maximator Hydrogen GmbH: persönliche Kommunikation, 28.09.2023.

In Experteninterviews konnten dennoch verschiedene Hemmnisse für Baden-Württemberg identifiziert werden. Diese sind im nachfolgenden Kapitel „Handlungsoptionen“ einzeln beschrieben und erste Verbesserungsvorschläge werden dort ange-regt. Ein Kernkritikpunkt ist, dass Anforderungen nicht allgemeingültig sind, sondern letztendlich die Handhabung des Antragbearbeiters einen recht großen Einfluss haben kann. Weiter wird aus Sicht der Antragsteller vermerkt, dass sich Zu-ständigkeiten deutlich unterscheiden können. Dies hat Rechercheaufwand zur Folge, was mit einer transparenten Zuständigkeitsmatrix vermieden werden könnte. Die fehlende Erfahrung mit diesem Prozess spiegelt sich in verschiedenen Konsequenzen wider: Dieselben Fragenstellungen werden individuell gehandhabt und die Prioritäten sind für Antragsteller unklar. Unterschiedlich sind auch die Anzahl der geforderten Gutachten und der Zeitpunkt, wann diese bei vergleichbaren Projekten vorzulegen sind. Länderspezifische Besonderheiten wie Installation von Photovoltaikanlagen und Dachbegrünung können bei derzeitigen, containerbasierten Anlagen zu Mehrkosten führen. Die Sinnhaftigkeit wird seitens der Antragsteller für diese Bauausführungen hinterfragt. Neben einzelnen Behörden sind in den Genehmigungsprozess auch Feuerwehren involviert. Auch hier wurden erwartungsgemäß sehr unterschiedliche Erfahrungsrückmeldungen gegeben. Dies wird ebenfalls im nachfolgenden Kapitel vertieft. Es sind jedoch auch einzelne Fälle festzuhalten, in denen eine Inbetriebnahme ohne signifikante Verzögerung oder größere Komplikationen erfolgte.³⁵ Dies unterstreicht die Wichtigkeit ausreichender Erfahrungshorizonte und transparenten Handelns aller betroffenen Parteien, um diesen Prozess effektiv und schnell durchzuführen.

Die Abnahme von HRS sind in Tests in SAE J2601 bzw. ISO 19880-1 wiederzufinden. Diesen Prozessschritt konnte die ko-ordinierende Organisation Clean Energy Partnership, ein Zusammenschluss von 23 Unternehmen der Fahrzeug- und Infra-strukturindustrie, im Oktober 2023 in die Hände von DEKRA, TÜV Rheinland und TÜV Süd als den drei ersten Prüf-unternehmen übergeben.³⁶

3.5 Regulatorik für Fahrzeuge

Während Brennstoffzellenantriebe mittlerweile in gleiche Bauräume wie Diesellaggregate eingebaut werden können, benö-tigen Druckspeicher insbesondere für Langstreckenfahrzeuge mehr Bauraum als konventionelle Dieseltanks. Aus diesem Grund sind in Deutschland und im europäischen Ausland nationale Regelungen umgesetzt worden. Diese erlauben bis zu 1,2 m längere Fahrzeuge, sofern nationale geometrische Anforderungen des Kreisverkehrs eingehalten werden.³⁷ In diesem Zusammenhang wird aktuell auf EU-Ebene unter dem Titel „Greening Freight Package“ eine Erhöhung der erlaubten Fahrzeuggewichte pro Achse diskutiert. Diese erlauben, dass das Mehrgewicht der neuen Antriebseinheiten kompensiert werden kann und somit kein Nachteil in der Nutzlast gegenüber Dieselfahrzeugen entsteht.^{38,39} Für Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb ist ein Fahrzeugmehrgewicht zweitrangig.

35 M. Wiedemann, SSB AG: persönliche Kommunikation, 15.08.2023.

36 CEP, Pressemitteilung 05.10.2023: [20230510_CEP_PM-Uebergabe-HRS-Abnahme.pdf \(cleanenergypartnership.de\)](#)

37 M. Männlein, Iveco; O. Gutt, GP Joule: persönliche Kommunikation, 18. bzw. 20.09.2023.

38 Quelle: [Green Deal: Greening freight for more economic gain with less environmental impact \(europa.eu\)](#)

39 Electrive.net, 12.07.2023: [EU-Kommission will E-Lkw höheres Maximalgewicht gewähren - electrive.net](#)

3.6 Regulatorik zur Wasserstoffverfügbarkeit

Die EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED) regelt auf europäischer Ebene die Kriterien für die Erzeugung von grünem Strom. Die erste Überarbeitung der RED, die (EU) 2018/2001, genannt „RED II“, trat 2018 in Kraft; eine weitere Novelle „RED III“ ist kurz vor Inkrafttreten.⁴⁰ Die aktuell gültige RED II hat zwar keine direkte Auswirkung hinsichtlich Installation von Tankstellen. Da jedoch für den Tankstellenbetrieb zumindest bis zum Zeitpunkt eines Anschlusses an eine H₂-Pipeline überwiegend H₂-Versorgung mittels Elektrolyseure erfolgt, sind insbesondere die drei Hauptbezugskriterien zu erfüllen. Die H₂-Herstellung muss zeitlich („Gleichzeitigkeitsgebot“) und räumlich eng (gleiche Stromgebotzone) mit der Stromerzeugung aus Sonne und Wind verknüpft sein und die Erneuerbare-Energien(EE)-Anlagen müssen zusätzlich zu bereits bestehenden Anlagen errichtet werden und dürfen keine Förderung erhalten haben. Kritisch wird vor allem die Zusätzlichkeit bewertet. Es gelten Übergangsfristen für die Zusätzlichkeit für Elektrolyseure, die bis Ende 2027 in Betrieb genommen werden, und für die Gleichzeitigkeit von EE-Stromerzeugung und Verbrauch durch Elektrolyseure bis Ende 2029. Diese Regeln werden dennoch von Marktentwicklern als sehr hemmend betrachtet.

3.7 Förderkriterien

Öffentliche Förderung von H₂-Tankstellen und -Fahrzeugen gibt es auf Landes- und Bundesebene. Das Land Baden-Württemberg fördert klimaneutrale Busse (z. B. LGVVG 2024). Seitens des BMDV wurden im Rahmen der KsNI-Ausschreibungen für Fahrzeuge bislang drei Runden veröffentlicht. Die Förderung umfasst 80 % der Mehrkosteninvestition der Beschaffung von leichten und schweren Batterie- und Wasserstoff-Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen der EG-Fahrzeugklassen N1, N2 und N3 sowie die Lade- und Tankstelleninfrastruktur. Priorität der Förderung sind Fahrzeuge mit möglichst hoher CO₂-Verursachung. Die Ausschreibungen waren bisher stark überzeichnet, was auf ein sehr signifikantes Interesse auf Seiten der verschiedenen Anwender hinweist. Die Länder Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen sowie der Bund fördern H₂-Tankstellen mit ebenfalls hohen Förderquoten bis 80 % der Anschaffungspreise.

Anwender aus der Mobilität und Infrastrukturbetreiber unterstreichen die Wichtigkeit dieser Förderungen. Von beiden Seiten wird dies gerade für Fahrzeuge unterstrichen, weil damit Anreize für einen schnellen und parallelen Infrastrukturaufbau vorliegen. In Experteninterviews wurden Ergänzungen und Verbesserungsvorschläge erörtert und erarbeitet, die im nachfolgenden Kapitel 4.7 aggregiert dargestellt sind. Für die meisten gibt es durchgehend Übereinstimmung.

⁴⁰ RED II, RED III: [EUR-Lex - 32018L2001 - DE - EUR-Lex \(europa.eu\)](#) und [Renewable energy directive \(europa.eu\)](#)

4. Handlungsoptionen

Die Darstellung der Hemmnisse in Kapitel 3 zeigt, dass der Aufbau einer HRS-Infrastruktur nur dann nachhaltig erfolgreich sein wird, wenn:

- 1. parallel eine ausreichende Auslieferung von Fahrzeugen erfolgt,
- 2. Planungssicherheit für die HRS-Betreiber und -Endanwender in der Logistik oder in Busunternehmen gegeben ist und
- 3. ausreichend geeigneter, idealerweise grüner Wasserstoff zur Verfügung steht.

Absehbar ist die Kritikalität der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff generell und für die Anwendung Mobilität im Speziellen, da die Mobilität in Konkurrenz mit anderen Großanwendungen steht, z. B. der energieintensiven Industrie. Für Letztere sind die Bedarfe sehr hoch und die politische Unterstützung ist stark.

In oben genannten Cleanroom-Gesprächen der NOW wurden LKW-Hersteller auch nach notwendigen Randbedingungen für den Markthochlauf befragt. Analog zu eigenen Gesprächen besteht Einigkeit, eine öffentliche Tank- und Ladeinfrastruktur sehr zeitnah aufzubauen. Angesichts der benötigten Planungssicherheit muss diese Infrastruktur über eine hohe Verfügbarkeit verfügen. Ohne diese Randbedingungen erscheinen die europäischen CO₂-Flottenziele für 2025 und 2030 als nicht erreichbar. Nachfolgend werden Handlungsoptionen analog zur Reihenfolge von Kapitel 3 dargelegt.

4.1 Offene technische Fragen für Nutzfahrzeug-Tankstellen

Für die derzeit überwiegend verwendete 350-bar Technik liegen keine offenen technischen Fragestellungen vor. Fehlende Standardisierungen sind schnellstmöglich abzuschließen, diese sind bezüglich der Tankstellentechnik alle adressiert und die entsprechenden Prozesse sind gestartet.

Für die 700-bar-Technik befinden sich die technischen Fragestellungen in der Bearbeitung; der derzeitige technische Reifegrad ist allerdings signifikant geringer. Diese Betankungstechnik ist für Nutzfahrzeuge noch nicht vollumfänglich nachgewiesen, die ersten geeigneten Tankstellen sind erst in Betrieb gegangen bzw. derzeit in Aufbau. Neben dem Abschluss der Standardisierungen bis Ende 2024 und der Fertigstellung der Kommunikationsschnittstellen ist der Nachweis der „Back to back“-Betankungsfähigkeit mit Füllmengen bis ca. 70 kg von hoher Priorität. Ein regelmäßiger Austausch zwischen den Akteuren HRS-Betreiber und OEM unter Federführung der CEP und eine regelmäßige Fortschrittskommunikation mit Anwendern in der Logistik und im ÖPNV sollten diesen Prozess unterstützen.

Bezüglich flüssigen Wasserstoffes ist der Abschluss serientauglicher Komponentenentwicklung bis ca. 2027 anzustreben, um parallel eine ökonomische Bewertung der durchgehenden Wertschöpfungskette durchführen zu können. Zu diesem Zeitpunkt ist zu erwarten, dass praxisrelevante Erfahrungen aus der ersten in Europa betriebenen Anlage und weiteren im Aufbau

befindlichen Pilottankstellen vorliegen.⁴¹ Die Aussagen, ob flüssiger oder (wieder) gasförmiger Wasserstoff die ökonomischere Lösung darstellt, sind widersprüchlich. Daher wird eine neutrale und umfassende Bewertung der möglichen Infrastrukturkosten und Betriebskosten angeregt. Bei dieser Bewertung sollte die ebenfalls in der Entwicklung befindliche Betankungstechnik mit tiefkaltem Druckwasserstoff berücksichtigt werden.⁴²

Für Betreiber ist eine Standardisierung der Anschlusskupplungen von Trailern zu den Tankstellen von größtem Interesse, um den Wettbewerb für Wasserstofflieferanten von Anfang an zuzulassen. So könnten entsprechende Vorgaben zu künftigen Förderausschreibungen gemacht werden. Parallel wird empfohlen, hier eine Standardisierung zu initiieren.

Wichtig ist die gestartete Normungsübersicht, die durch die CEP erarbeitet wird. Hier ist eine schnelle Information auch außerhalb der CEP zu unterstützen.

4.2 Fahrzeugverfügbarkeit

Für die Planungssicherheit von HRS sind die Fahrzeugverfügbarkeit und die entsprechende Verfügbarkeit von Service (so genannter After Sales) essenziell. Es ist zu erwarten, dass eine Fahrzeugförderung aktuell und auch in der weiteren Markthochlaufphase notwendig ist. Allerdings sollten die Förderkriterien modifiziert werden (siehe 4.7 unten und ebenso 3.7) und insbesondere die aktuellen KsNI-Förderungen pragmatisch entschieden und umgesetzt werden. Nachfolgend seien einzelne Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Fahrzeugklassen genannt.

Schwerlastverkehr: Seitens Anwendern wird insbesondere eine frühere Fahrzeugverfügbarkeit gewünscht. Dies betrifft nicht nur Sattelzugmaschinen, sondern auch mittelschwere LKW für den Verteilverkehr, der sich insbesondere für einen Hubbetrieb eignet. Für einen Systembeweis sind voraussichtlich Fahrzeuge mit geringen Stückzahlen und regionaler Lokalisierung initial ausreichend, da der Betrieb von Hubs in den ersten Marktphasen sinnvoll ist. Dies sollte der Fokus von abgestimmten Ausschreibungen für Fahrzeuge und HRS sein, ähnlich einer angekündigten Förderung in den Niederlanden.⁴³ Eingang wurde dargestellt, dass ca. 3.000 LKW bereits mit etwa 60 HRS mit einer maximalen Tageskapazität von 2 t bedient werden können. Demgegenüber ist die Anzahl der derzeit käuflich erwerbbarer Fahrzeuge noch gering. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der engen Abstimmung von Fahrzeughochlauf und Netzaufbau.

Kommunikation mit Endanwendern in der Logistik und im ÖPNV: Der Wissensstand von FCV bei den Anwendern, z. B. in der Logistikoder im ÖPNV, ist nur wenig verbreitet. Netzwerke und Plattformen wie e-mobil BW und H2BW sollten ihre Kommunikationskanäle nutzen und einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen Fahrzeugherstellern und

41 Electrivate.net, 03.07.2023: [Go-Ahead flottet 20 BZ-Busse im Großraum London ein | electrivate.net](#), M. Renkert, NOW-GmbH: mündliche Kommunikation, 05.10.2023.

42 NOW GmbH, 2022: [Clean Tech Startup Cryomotive eröffnet Wasserstoff-Tankenwicklungszentrum in Pöfpenhausen und erhält Förderbescheid für das Verbundprojekt CryoTRUCK - NOW GmbH \(now-gmbh.de\)](#)

43 Electrivate.net, 27.09.2023: [Niederlande legen Förderung für Wasserstoff-Mobilität auf | electrivate.net](#)

„frühen“ Kunden, z. B. hinsichtlich der Einführung von weiteren Fahrzeugmodellen und Stückzahlplanung, ermöglichen. Angepasste Förderkriterien sollten dies entsprechend unterstützen.

Bewertung kommunaler und landeseigener Fahrzeuge: Für den Einsatz im ÖPNV oder die derzeit in geringer Stückzahl eingeführten Abfallsammelfahrzeuge sollte die Möglichkeit gemeinsamer Beschaffung für mehrere Gemeinden oder öffentliche Körperschaften bewertet werden. So könnte das Fahrzeugangebot preislich, aber ggf. auch hinsichtlich der Fahrzeugvarianten verbessert werden.

4.3 Standortkriterien und Netzplanung in Baden-Württemberg

Mehrere HRS-Betreiber stimmen überein, dass bis 2035 in Deutschland und damit auch in Baden-Württemberg ein weit über die AFIR-Anforderungen hinausgehendes und flächendeckendes Tankstellennetz aufgebaut sein wird, sofern – wie ausgeführt – Planbarkeit für die Betreiber und Fahrzeugverfügbarkeit gegeben sind. Auch das BMDV ist sich bewusst, dass für eine breitere Markteinführung von FCV-LKW die Umsetzung der AFIR allein nicht ausreichend ist.²⁵

Auf Baden-Württemberg bezogen, wird die Flächenverfügbarkeit als stärkstes Hemmnis genannt. An hoch frequentierten Premiumstandorten wie z. B. Autohöfen kann eine neue HRS im Wettbewerb mit geforderten Rastplätzen stehen. Hier kann eine Unterstützung für alternative Rastplatz-Standorte hilfreich sein. Weiter sollten die entsprechenden Vorgaben der Straßenverkehrsordnung (StVO) auf lokale Ausnahmen geprüft werden. Wenn diese nicht identifizierbar sind, könnte geprüft werden, ob die StVO entsprechend hinsichtlich der geforderten Rastplätze flexibler gestaltet werden kann. Der Platzbedarf für den Ladeinfrastruktur(LIS)-Aufbau ist aufgrund der geringeren Energiedichte beim Laden im Vergleich zum Betanken noch höher. Aufgrund dessen könnte eine Modifikation oder Flexibilisierung für einen signifikanten Netzaufbau eine zwingende Notwendigkeit werden.

Eine Möglichkeit zur Unterstützung der Marktteilnehmer ist eine koordinierte Erfassung geeigneter Grundstücke für HRS entlang Hauptverkehrsstraßen, koordiniert mit den Gemeindeverwaltungen und der nachfolgenden Aktivität zur Bedarfsermittlung.

Landesweite H₂-Bedarfsermittlung

Der Wasserstoffbedarf wie auch der LIS-Strombedarf für Mobilität ist derzeit landesweit nur unzureichend lokalisiert und quantifiziert. Zudem wurden nach heutigem Planungsstand im Land einige Regionen identifiziert, wo eine HRS-Infrastruktur erst mit Verzögerungen zu erwarten ist, siehe Abbildung 5. Um die lokale Nachfrage zu erfassen und zu bündeln, plant e-mobil BW landesweit in Absprache mit Logistikverbänden eine lokale Strom- und Wasserstoffbedarfsermittlung für die Logistik. Dies kann einen wesentlichen Beitrag leisten, um für derzeit nicht verplante Regionen attraktive Geschäftsmodelle zu entwickeln. Mit diesen Aktivitäten werden gleichzeitig sowohl die für den LIS- wie auch den HRS-Netzaufbau notwendigen elektrischen Leistungsbedarfe ermittelt und entsprechende Informationen an relevante Verteilnetzbetreiber kanalisiert. Um die entsprechenden Grundlagen für die detaillierte Erarbeitung zu legen, wird derzeit mit Logistikverbänden aus Baden-Württemberg ein erster Workshop vorbereitet, der Anfang 2024 mit identifizierten Teilnehmern aus der Logistikbranche und

Infrastrukturbetreibern durchgeführt wird. Die Kooperation mit der NOW und der LIS-Leitstelle ist in bereits Vorbereitung. Einen wichtigen Beitrag liefert die landesweite Bedarfsermittlung, deren Ergebnis am 9. November 2023 vorgestellt wurde. In einem zweiten Schritt können auch ÖPNV-Betreiber bzw. deren Verbände wie Brennstoffzellen-Buscluster und Versanddienstleister einbezogen werden. Dies ist noch nicht in Vorbereitung

Solange ein H₂-Pipelinennetz nicht verfügbar ist sowie an Orten, wo kein Pipelineanschluss geplant ist, muss der (grüne) Wasserstoff lokal oder regional erzeugt werden. Die landesweite Bedarfsermittlung erlaubt somit auch eine Lokalisierung von geeigneten Wasserstofferzeugungshubs, von denen aus die HRS-Tankstellen z. B. mittels Trailer oder Wechsel-Speichercontainer versorgt werden können. Ebenso bildet die Bedarfsermittlung eine Grundlage für die Identifikation von Ausspeisepunkten aus Wasserstoff-Fern- und -Verteilnetzen. Hierbei ist auch zu betrachten, dass voraussichtlich die Reinheit des Pipeline-Wasserstoffs eine Nachreinigung für FCV notwendig macht. Dies ist relevant, um den notwendigen Investitionsbedarf als Funktion von Bedarfsmengen pro Ausspeiseort optimieren zu können.⁴⁴ Zusammenfassend wird die Initiierung einer landesweiten Standortplanung von Wasserstoff-Produktionshubs für die Mobilität angeregt, die eine Lokalisierung von Ausspeiseorten aus dem kommenden Fernleitungsnetz berücksichtigt. Derartige (kommende) Planungen angrenzender Bundesländer, in Frankreich und der Schweiz sind sinnvollerweise ebenso zu berücksichtigen.

4.4 Regulatorik für HRS

Genehmigungsverfahren für Tankstellen

Das Genehmigungsverfahren ist Kritikpunkt vieler Beteiligten in Bezug auf Dauer, Zuständigkeiten, Zeitpunkt⁴⁵ und Eindeutigkeit der Anforderungen. Bei der Bearbeitung sind sowohl Bundesgesetze als auch Landesvorgaben und kommunale Vorgaben zu beachten und umzusetzen. Die Erarbeitung eines Genehmigungshandbuchs für Baden-Württemberg sowie geeigneter und eindeutiger Unterlagen für die beteiligten Behörden und auch Antragsteller wird von den Beteiligten stark befürwortet und von der Plattform H2BW koordiniert. Das Handbuch ist unter Beachtung des generellen Leitfadens von der NOW⁴⁶ auszuarbeiten, weshalb die Umsetzung in Abstimmung mit der NOW erfolgt. Der Abschluss für diese Arbeiten ist für das 3. Quartal 2024 geplant. Es kann erwartet werden, dass diese Arbeiten dazu beitragen können, die aktuell sehr langen Antragsphasen zu verkürzen. Über den aktuellen Verfahrensprozess hinausgehend sind Ansätze zu evaluieren, die eine weitere deutliche Verfahrensverkürzung und -vereinfachung erlauben. Hierzu ist das derzeit in Diskussion befindliche Wasserstoffbeschleunigungsgesetz zu bewerten.⁴⁷

44 Laut P. Huber von H2energy kann der elektrolytisch gewonnene hochreine Wasserstoff in neu gebauten, ausschließlich hochreinen Wasserstoff transportierenden Leitungssystemen über weite Strecken ohne signifikante Verunreinigungen im Fernleitungsnetz transportiert werden, wenn insbesondere Kontakt mit geologischen H₂-Speichern vermieden wird. Statt einer aufwendigen Aufreinigung ist laut Huber nur eine sehr viel günstigere Trocknung notwendig. Da eine umfassende technische und kommerzielle Bewertung nicht vorliegt, kann dies hier nicht weiterverfolgt werden. Eine entsprechende Klärung wird aber angeregt.

45 E. Hof, JetH2energy GmbH: persönliche Kommunikation, 21.08.2023. Genanntes Beispiel sind Doppelungen. Es werden Informationen abgefragt, die bereits durch die ZÜS (TÜV, DEKRA etc.) geprüft wurden und somit Bestandteil des ZÜS-Berichts sind, der bereits mit dem Bauantrag eingereicht wurde.

46 NOW GmbH, 24.03.2022: [NOW_Genehmigungleitfaden_H2-Tankstellen.pdf \(now-gmbh.de\)](#)

47 Wasserstoffbeschleunigungsgesetz: [Koalition einigt sich auf neue Strategie zum Wasserstoffausbau | tagesschau.de](#)

Unterstützend sollten im Rahmen von „Weg frei für H₂“ Schulungen aller involvierten Behörden durchgeführt werden. Dies sollte sehr zeitnah nach Erstellung des Genehmigungshandbuchs einschließlich weiterer Unterlagen durchgeführt werden. Ebenso sollten die Behörden auch über weitere Fortschritte einer anschließenden Verfahrensvereinfachung unterrichtet bleiben. Verwaltungsseitig ist zu überlegen, inwiefern beispielsweise pro Regierungspräsidium eine geschulte Ansprechperson für Tankstellenplanung benannt werden kann, die insbesondere diese Problemstellungen mit den Kommunen bearbeitet und den interessierten Infrastrukturinvestoren kommuniziert. Dies ist ähnlich der Ladeinfrastrukturplanung, wo pro Landkreis eine Fachperson diese Problematik bearbeitet. Dies ermöglicht generell lokal Unterstützung bei der Standortsuche oder beispielsweise der Verkehrsstromermittlung.

Anreize setzen für einen Markthochlauf und Investitionssicherheit

Mit dem Ziel, den CO₂-Ausstoß im Verkehr zu reduzieren, wurden in Deutschland die Treibhausgasreduktionsziele (THG-Ziele) bis 2030 gesetzlich festgelegt.⁴⁸ Demnach muss die Inverkehrbringung von CO₂-emittierenden Kraftstoffen kompensiert werden, was mittels THG-Quotenhandel erfolgt. Aufgrund der steigenden THG-Ziele ist prinzipiell mit zunehmenden THG-Quotenpreisen zu rechnen. Allerdings kann die Wirksamkeit dieses Ansatzes durch Änderungen der Randbedingungen signifikant reduziert werden. So wurden im Jahr 2022 Reste von Speiseölen als THG-anrechnungsfähig zugelassen. Dies hat 2023 sehr signifikant den THG-Quotenpreis gesenkt, obwohl die verfügbaren Mengen im Vergleich zum Bedarf auch mittelfristig sehr limitiert sind. Solche Änderungen können also die Berechnungsgrundlagen für HRS-Investitionen deutlich in Frage stellen und reduzieren die Planungssicherheit weiter. Als Option könnte daher überlegt werden, ob Untergrenzen für THG-Quotenwerte für den Zeitraum bis beispielsweise 2030 eingeführt werden können.

Alternativ könnten die Fahrzeughalter als THG-Quotenberechtigte eingestuft werden, wozu eine Änderung im Sinne von § 37a Abs. 6. BImSchG notwendig ist.⁴⁹ In entsprechender Weise können bereits heute Halter batterieelektrischer Fahrzeuge vom Quotenhandel profitieren, wenn ihre Fahrzeuge an nicht öffentlichen Ladepunkten geladen werden.

Für Wasserstoff und PtX-Kraftstoffe werden von 2022 bis 2030 die Mengen der THG-Quote mit Faktor 2 angerechnet werden (Raffinerien und Straßenverkehr). Bei Strom dagegen werden von 2022 bis 2030 die Mengen der THG-Quote durchgängig mit Faktor 3 angerechnet (Strom aus öffentlichen Ladepunkten, private Elektrofahrzeuge, Fahrzeugflotten). Die Anrechenbarkeit von Wasserstoff sollte von Faktor 2 auf Faktor 3 erhöht werden, um eine Vergleichbarkeit zur Ladeinfrastruktur herzustellen.

Es ist abzusehen, dass in den kommenden Jahren Betreiber von klimaneutralen Nutzfahrzeugen mit erheblich höheren Kosten zu rechnen haben. Gleichzeitig sind die finanziellen Mittel der in Deutschland überwiegend mittelständischen Logistikunternehmen begrenzt. Daher ist eine Fortschreibung der CO₂-Mautfreiheit für klimaneutrale LKW über das Jahr 2025 hinaus für den Markthochlauf von FC-LKW förderlich – statt einer Reduktion auf 25 % ab 2026.

⁴⁸ BMUV, 21.02.2021. [BMUV: Beschlossene Anpassungen der Treibhausgasminderungsquote \(THG-Quote\) | Infografik](#).

⁴⁹ Becker Büttner Held Rechtsanwälte, Berlin, 29.09.2023, S. 85: Studie zur Analyse der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen für einen wettbewerbsfähigen und nachhaltigen Markthochlauf von Brennstoffzellenmobilität im deutschen Verkehrssektor auf Basis von grünem Wasserstoff.

In diesem Zusammenhang ist auch eine Netzgeldregelung für Wasserstoffnetze auf Bundesebene zu finden. Zukünftig können oftmals die Netze verschiedener Betreiber bei der HRS-Versorgung in Baden-Württemberg involviert werden. Eine Möglichkeit wäre hier z. B. die Festlegung einer festen Gebühr pro Menge und Transportlänge, um für den Süden wettbewerbsfähige Transportkosten sicherzustellen.

Die wichtigste regulatorische Notwendigkeit besteht darin, Planbarkeit für weitere kontinuierliche Investitionen in die Lade- und Tankinfrastruktur einerseits und auch die Fahrzeugbeschaffung andererseits zu realisieren. Aus gegenwärtiger Sicht sind für beides bis Ende der 2020er Jahre kontinuierliche Förderungen von Investitionen oder steuerliche Anreize regulatorisch/gesetzlich sicherzustellen. Förderungen sollten über die Jahre degressiv erfolgen, damit Investitionen möglichst nicht zeitlich verschoben werden. Ohne eine Marktanregung werden der Aufbau flächendeckender Infrastrukturen und gleichzeitige Flottenumstellungen nicht in ausreichendem Maße erfolgen, um die gesetzten Klimaziele im Transportsegment zu erreichen. Bezüglich Infrastrukturaufbau sollte das Ziel sein, für die kommenden vier Jahre festgelegte Fördersummen und für die darauffolgenden drei Jahre Zielwerte festzulegen.

4.5 Regulatorik Fahrzeuge

Das in 3.5 angesprochene „Greening Freight Package“ auf EU-Ebene ist in Arbeit und sollte entsprechend den genannten Anforderungen insbesondere hinsichtlich Fahrzeuglänge entsprechend abgeschlossen und, wo notwendig, in die Straßenverkehrsordnung übertragen werden.

4.6 Regulatorik zur Wasserstoffverfügbarkeit

Das eindeutige Ziel ist, die H₂-Mobilität ausschließlich mit grünem Wasserstoff zu versorgen. Dafür sind bundesweit und in Europa einheitliche Zertifikate auszustellen. Derzeit gibt es noch deutliche Unterschiede, z. B. zwischen Baden-Württemberg und dem Bund. Dies muss möglichst schnell geändert werden und bis 2025 eine bundesweit einheitliche praktikable Regelung festgelegt sein. Die europäische Regelung ist ebenso zeitnah umzusetzen.

Bis zur verlässlichen Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff müssen Brücken mit anderen Herstellungstypen („Farben“) erlaubt sein. Andernfalls wird ein Aufbau einer H₂-Tankstelleninfrastruktur erheblich erschwert. Jüngste Äußerungen der Bundesregierung zielen in diese Richtung.⁵⁰ Die Landesregierung von Baden-Württemberg hat sich vergleichbar positioniert.⁵¹ Für die Logistik ist wie erwähnt die Versorgungssicherheit mit Wasserstoff ein essenzielles Kriterium dafür, ob diese Technik zur Anwendung kommt. Kann wider die Planung ein Verfügungsengpass von grünem Wasserstoff nicht ausgeschlossen werden, könnte eine vorübergehende Verwendung von blauem und türkischem Wasserstoff in Deutschland ermöglicht werden.

⁵⁰ M. Theurer, BMDV: Podiumsdiskussion am Rande des „Fachkongresses Wasserstoff für die Mobilität“, Berlin, 18.09.2023.

⁵¹ W. Kretschmann, MP Baden-Württemberg, 30.06.2023: 2. Spitzengespräch Wasserstoff.

4.7 Verbesserte Förderrichtlinien

Die aktuell umfangreiche Förderung von Tankstellen wird von der Industrie prinzipiell befürwortet. Wichtig erscheint es derzeit, die Förderinstrumente geeignet anzupassen, um die erste Phase des Markteintritts für klimaneutrale Nutzfahrzeuge effektiver zu unterstützen. Aggregiert bewertet aus vielen Einzelgesprächen ergeben sich nachfolgende Verbesserungsvorschläge^{19, 26, 30, 32, 33, 52, 53, 54}:

- **1. Kontinuierliche Förderung über mindestens vier Jahre mit klarer Zielsetzung und Anreize für einen Markthochlauf:** Ein kontinuierlicher Förderzeitraum erlaubt eine deutlich bessere Planbarkeit gegenüber den derzeitigen zeitlich begrenzten Ausschreibungen und somit auch eine bessere Unterstützung des erwarteten Markthochlaufs. Eine mittelfristige Zielsetzung könnte ein Tankstellenaufbau auf dem erweiterten TEN-V Netz zuzüglich regional wichtiger Standorte sein. Neben einer planbaren Mittelverfügbarkeit sollte in den kommenden Jahren ein starker Fokus auf eine schnelle und pragmatische Umsetzung der Förderung gelegt werden, insbesondere auch mit Blick auf kommende KsNI-Ausschreibungen. Gleichzeitig sollten in diesem Zeitraum unterstützende Anreize wie eine ausreichende CO₂-Besteuerung und attraktive Mautabgaben weiterverfolgt werden. Damit werden Total-Cost-of-Ownership(TCO)-basierte Anreize für einen nachhaltigen Markthochlauf gesetzt, die im Transportgewerbe maßgeblich sind. In diesem Zusammenhang ist auch ein Wechsel des THG-Quotenempfängers weg vom Infrastrukturbetreiber hin zum Endanwender anzudenken – dies ist bereits für Elektrofahrzeuge derartig umgesetzt.
- **2. Gewährung von Betriebskostenbeihilfen:** Zusätzlich sollte für die ersten Betriebsjahre eine begleitende Betriebskostenbeihilfe eingeführt werden, um HRS-Schließungen nach der geförderten Demonstrationsphase zu verhindern. Die Voraussetzungen zur Gewährung für HRS wurden in einem rechtlichen Gutachten als „machbar“ beurteilt.⁵⁵ Darüber hinaus sollte eine Kopplung an glaubhafte Nachweise der Hochlaufmengen mit Endkunden bei der Investitionsförderung erfolgen.
- **3. Zeit zum Aufbau der grünen Wasserstoffherzeugung erlauben:** Auch bei fehlenden Redundanzen regionaler H₂-Tankstellen müssen LKW- und Busbetreiber ihre Fahrzeuge betreiben können. Ein Ausfall der lokalen Tankstelle kann aber dazu führen, dass kein grüner Wasserstoff zur Verfügung steht. Ein Betreiber kann daher gegenwärtig keiner Förderung zustimmen, die ihn dazu verpflichtet, unter Umständen grünen Wasserstoff zu verwenden. Grüner Wasserstoff sollte der Planfall sein, aber Ausnahmen müssen zugelassen werden.

52 W. Holderried, F. Loogen, e-mobil BW, Schreiben an CEO von NOW GmbH, Ch. von Knobelsdorff, Mai 2023.

53 O. Gutt, GP Joule Hydrogen GmbH: persönliche Kommunikation, 27.07.2023.

54 M. Wiedemann, SSB AG: persönliche Kommunikation, 15.08.2023.

55 M. Alrock, C. Kliem, B. Schwach, V. Nguyen: DWV, 12.10.2023: [Filename_010HJYBWOI8BY7C.pdf\(dwv-info.de\)](#)

- **4. Flexibilisierung des Tankstellenaufbaus:** Eine vorausschauende Infrastrukturplanung für zukünftig größere Flotten sollte möglich sein. Aktuell fixe Vorgaben können zu hohen initialen Kosten führen oder gar eine Antragstellung verhindern. Als Beispiel wurden starre und hohe Mindestmengen von 2 t/Tag in aktuellen BMDV-Ausschreibungen genannt. Auf der anderen Seite werden mobile Tankstellen als kostenextensiver Einstieg für Betriebshöfe derzeit nicht gefördert. Alle Marktteilnehmer sind sich einig, dass ein Minimum von 2 t/Tag aktuell zu hoch ist. Aber sie sind überzeugt, dass potenzielle Standorte eine entsprechende Ausbaufähigkeit erlauben müssen. Eine Förderausschreibung sollte daher eine mehrstufige Investition mit zeitlichem Abstand von mehreren Jahren erlauben. Dies erlaubt es, den Ausbau der Infrastruktur vorausschauend zu planen, neue Entwicklungen zu berücksichtigen (siehe offene technische Fragestellungen) und kostenoptimiert umzusetzen.

- **5. Fahrzeugförderung:** Wie erläutert ist die Förderung von Fahrzeugen essenziell für den Infrastrukturaufbau. Derzeit erfolgt eine Fahrzeugförderung unter Berücksichtigung der Höhe der potenziellen CO₂-Einsparung auf Grundlage der geplanten Strecke in Kilometern. Dies ist generell effektiv, aber stark nachteilig für den sehr wichtigen Verteilverkehr oder auch für (kommunale) Betreiber von Sonderfahrzeugen wie z. B. die Abfallsammelwirtschaft oder Feuerwehren. Ähnliche Argumente sprechen für eine verbesserte Förderung von N1-Fahrzeugen, verwiesen sei auf die bereits dargestellte hohe Laufleistung, hohe Stückzahlen und öffentliche Sichtbarkeit. Essenziell ist in jedem Fall, dass Tankstellenförderung und Fahrzeugförderung eng aufeinander abgestimmt sind, inhaltlich und auch zeitlich. Gegenwärtig ist Letzteres oftmals nicht sichergestellt. Daher ist für einen politisch und gesellschaftlich gewollten Hochlauf klimaneutraler Nutzfahrzeuge die Erstellung einer Roadmap mit klaren und abgestimmten Zielen analog HRS-Förderung sinnvoll. Es ist offensichtlich, dass die derzeitige Förderung nur für geringe Fahrzeugstückzahlen möglich ist und andere Fördermechanismen oder eine Abgabenpolitik notwendig werden.⁵⁶ Eine Roadmap schafft Klarheit, Planungssicherheit und Transparenz für alle Beteiligten.

- **6. Zusatzbedingungen nach Möglichkeit vermeiden:** Die Förderbedingungen sollten auf den Ausschreibungszweck begrenzt bleiben. Zusatzforderungen sollten vermieden werden. Beispielsweise wurde aufgrund der Corona-Pandemie der zwingende Einbau von antiviralen Innenraumfiltern in Bussen verlangt, was aber die Hersteller zum Zeitpunkt nicht umgesetzt haben. Derartige Forderungen liefern keinen Beitrag zum Ausschreibungszweck, binden Ressourcen und sollten daher vermieden werden.

- **7. Bearbeitungszeit der Anträge:** Die Dauer zwischen der Antragstellung und einer Rückmeldung bzw. der Zusendung des Zuwendungsbescheides wird als zu lang angesehen. An dieser Stelle wird ein quartalsweiser Förderturnus vorgeschlagen.

⁵⁶ Bei geänderten Förderkriterien sind auch die Zeitpunkte der Auszahlung zu betrachten. Der Zulassungszeitpunkt könnte administrativ geeignet sein.

- **8. Transparenz im Entscheidungsprozess:** Eine verbesserte Transparenz in der Förderentscheidung kann durch eine eindeutigere Kommunikation bereits bei der Ausschreibung erreicht werden.
- **9. Weiterentwicklung der AFIR-Vorgaben:** Von Infrastrukturbetreibern wird eine ausreichende Flächendeckung für die Hauptverkehrsachsen von Baden-Württemberg und Deutschland für das Jahr 2035 als realistisch umsetzbar beurteilt. Für den Schwerlastverkehr ist eine Interoperabilität über die Landesgrenzen hinweg notwendig. Die aktuellen AFIR-Vorgaben haben ein Zwischenziel bis Ende 2030, das dies noch nicht anstrebt. Daher sollte eine entsprechende Weiterentwicklung der AFIR-Vorgaben auf EU-Ebene für den Zeitraum nach 2030 angestoßen werden.

4.8 Etablierung einer wettbewerbsfähigen HRS-Infrastruktur

Eine HRS-Förderung kann einen Infrastrukturaufbau nur initiieren. Aber auch die oben genannten Maßnahmen zur weiteren Aktivierung des Markthochlaufs werden nur dann erfolgreich eine kommerziell tragbare Geschäftsentwicklung erlauben, wenn parallel ausreichend zu betankende Fahrzeuge und Wasserstoff zur Verfügung stehen. Ein kommerzieller Betrieb von HRS sollte vor 2030 realistisch sein, damit ein weiterer und flächendeckender HRS-Ausbau in Baden-Württemberg, in Deutschland und in weiten Regionen von Europa realisiert werden kann.

Dabei ist zu beachten, dass für die nächsten ein bis drei Jahre signifikante Kostenreduktionen für Wasserstofftankstellen nicht zu erwarten sind. Dies ist erst mit einer zunehmenden Anzahl von HRS-Installationen zu erwarten. Aktuell wird mit Investitionskosten von HRS für die Betankung mit gasförmigem Wasserstoff ca. 5,5 Millionen Euro (Kapazität 1 t/Tag) und ca. 9 Millionen Euro (Kapazität 2 t/Tag) gerechnet (jeweils werden 350 bar und 700 bar gasförmiger Wasserstoff angeboten), was bereits eine signifikante Reduktion der Investitionskosten pro Tonne installierte H₂-Kapazität dokumentiert.⁵⁷ Neben dem stark vom Strompreis abhängigen Wasserstoffpreis muss zudem mit nicht unerheblichen Stromkosten des HRS-Betriebs gerechnet werden (Anschlussleistung siehe oben).

⁵⁷ F. Schulte-Wintrop, H2 Mobility: persönliche Kommunikation, 13.10.2023.

5. Zusammenfassung

Der Fokus von klimaneutraler Antriebstechnik mit Wasserstoff in der Mobilität liegt auf Nutzfahrzeugen und hier insbesondere auf dem Schwerlastverkehr. Um einen Markthochlauf zu ermöglichen, muss neben dem Aufbau der HRS-Infrastruktur möglichst zeitgleich eine ausreichende Auslieferung von Fahrzeugen erfolgen und Planungssicherheit für die Endanwender in der Logistik oder bei Busunternehmen und damit auch bei HRS-Betreibern gegeben sein. Zusätzlich muss sichergestellt sein, dass ausreichend geeigneter, idealerweise grüner Wasserstoff zur Verfügung steht. Für den weiteren Hochlauf wurden verschiedene Hemmnisse festgestellt und Handlungsoptionen gegeben. Nachfolgend die wichtigsten Handlungsoptionen in tabellarischer Übersicht.

Themenbereich	Handlungsoptionen
Offene technische Fragestellungen Nutzfahrzeug HRS	<ul style="list-style-type: none"> – Finalisierung ISO-Standardisierung für 700-bar-Tankprotokolle, Fahrzeugkupplung und Kommunikationsschnittstelle – Regelmäßiger Austausch unter Federführung der CEP und regelmäßige Fortschrittskommunikation mit den Anwendern – Bewertung Investitions- und Betriebskosten für Flüssigwasserstoff – Standardisierung für Schnittstelle Trailer zu HRS-Anschluss
Fahrzeugverfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> – Zeitnahe und pragmatische KsNI-Förderung, auch unter Betrachtung korrespondierender HRS-Förderungen – Zeitnahe und planbare (Klein-)Serienanläufe – Weitere Fahrzeugmodelle wie 6x2-LKW oder Low-Liner-Sattelzugmaschine – Kommunikation mit Endanwendern aus der Logistik und dem ÖPNV – Bewertung landeseigener und kommunaler Fahrzeuge
Standortplanung und Netzplanung	<ul style="list-style-type: none"> – Landesweite Ermittlung für HRS geeigneter Grundstückflächen – Möglichst flexible Anwendung der StVO bezgl. Parkplatzanforderungen – Landesweite, lokalisierte H₂-Bedarfsermittlung für die Logistik und den ÖPNV – Ableitung von H₂-Erzeugungshubs auf Basis des identifizierten lokalen Bedarfs
Regulatorik HRS	<ul style="list-style-type: none"> – Beschleunigt Genehmigungsverfahren umsetzen – Anreize für Markthochlauf und Investitionssicherheit schaffen einschließlich zeitlich befristeter Betriebskostenförderung
Regulatorik Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> – Inkrafttreten von „Greening Freight Package“, ggf. zeitnahe Anpassung nationaler Richtlinien oder StVO
Regulatorik zur Wasserstoffverfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> – Wasserstoff muss verfügbar sein, optional vorübergehend nicht grüner H₂ – Eindeutige und praktikable Regeln zur Zertifizierung von grünem H₂
Förderrichtlinien	<ul style="list-style-type: none"> – Kontinuierliche Förderung über mindestens vier Jahre mit klarer Zielsetzung erlaubt Planbarkeit mit Fokus auf schnelle und pragmatische Umsetzung – Schnelle Bearbeitungszeiten bis Erteilung des Zuwendungsbescheids mit größtmöglicher Transparenz gegenüber Antragsteller – Betriebskostenunterstützung für einen zu definierenden Zeitraum – Flexibilität beim Aufbau der HRS bzgl. Kapazität erlauben – Zusatzbedingungen nach Möglichkeit vermeiden
Anreize für nachhaltigen Markthochlauf	<ul style="list-style-type: none"> – Weiterentwicklung steuerlicher Anreize wie CO₂-Abgaben und Mautbefreiung für klimafreundliche Nutzfahrzeuge – Übergang des THG-Quotenempfängers vom Infrastrukturbetreiber zum Endanwender

Abkürzungsverzeichnis

ACEA	Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (fr.); Europäischer Automobilherstellerverband	kg	Kilogramm
		KsNI	Richtlinie über die Förderung von leichten und schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur für elektrisch betriebene Nutzfahrzeuge
AFIR	Alternative Fuel Infrastructure Regulation; Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe		
BEV	Battery Electric Vehicle; batterieelektrisches Fahrzeug	km	Kilometer
		kVA	Kilovoltampere
BEV-LKW	LKW mit Batterieantrieb	kW	Kilowatt
BImSchG	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz)	LIS	Ladeinfrastruktur
		m/m ²	Meter/Quadratmeter
		MVA	Megavoltampere
		NOW	Nationale Organisation Wasserstoff, Berlin
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin	OEM	Original Equipment Manufacturer; Erstausrüster
CcH ₂	Cryo-compressed hydrogen; tiefkalter Druckwasserstoff	RED	Richtlinie für Erneuerbare Energien der Europäischen Union
CEP	Clean Energy Partnership, Berlin	sLH ₂	Subcooled liquid hydrogen; tiefkalter flüssiger Wasserstoff
CGH ₂	Compressed gaseous hydrogen; gasförmiger Wasserstoff	StVO	Straßenverkehrsordnung
EE	Erneuerbare Energien	t	Tonne
FC	Fuel Cell; Brennstoffzelle	TCO	Total Cost of Ownership
FCV	Fuel Cell Vehicle, Brennstoffzellenfahrzeug	TEN-V	Transeuropäische Verkehrsnetze, gleichbedeutend mit TEN-T (Trans-European Transport Network)
FC-LKW	LKW mit Brennstoffantrieb		
HRS	Wasserstofftankstelle	THG	Treibhausgas
H ₂	Wasserstoff		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ergebnis der NOW-Cleanroom-Gespräche zu Hochlaufprognose schwerer Nutzfahrzeuge in Deutschland	5
Abbildung 2: Abschätzung der Anzahl der H ₂ -Tankstellen und des täglichen H ₂ -Bedarfs für den Schwerlastverkehr in Baden-Württemberg	8
Abbildung 3: AFIR-Vorgaben für den den BEV- und den FC-Schwerlastkehr	10
Abbildung 4: H ₂ -Tankstellen für Nutzfahrzeuge in Baden-Württemberg und Umgebung mit Jahreszahl der geplanten Inbetriebnahme bis 2026	11
Abbildung 5: Aufbau der H ₂ -Pipeline-Infrastruktur in Baden-Württemberg nach terranets BW	12
Abbildung 6: Gewichtung der Reichweitenklassen des Straßengüterverkehrs in Deutschland	13
Abbildung 7: Darstellung verschiedener Betankungsoptionen	14

Quellenangaben

Abbildung 1: NOW GmbH, 2022: Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Strassengüterverkehr. Auswertung der Cleanroom-Gespräche 2022 mit Nutzfahrzeugherstellern,
www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2023/02/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Technologien-im-schweren-Strassengueterverkehr.pdf

Abbildung 3: Rat der Europäischen Union, Pressemeldung vom 25.07.2023: Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe,
www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2023/07/25/alternative-fuels-infrastructure-council-adopts-new-law-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/

Abbildung 5: terrantes BW, Website, www.terranets-bw.de/unsere-netze/wasserstoff.
Letzter Zugriff November 2023.

Impressum

Herausgeber

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

www.um.baden-wuerttemberg.de

Realisation

e-mobil BW GmbH

Dr. Volker Banhardt

www.e-mobilbw.de

Layout/Satz/Illustration

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb