

AG 5 – BERICHT

Infrastruktur für Wasserstoffmobilität





AG 1

Klimaschutz im Verkehr



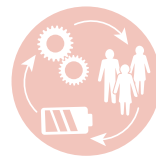
AG 2

Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität



AG 3

Digitalisierung für den Mobilitätssektor



AG 4

Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung



AG 5

Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung



AG 6

Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung

INHALT

| | |
|--|-----------|
| KURZFASSUNG | 4 |
| EXECUTIVE SUMMARY | 5 |
| 1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG | 6 |
| 2 ANNAHMEN UND SZENARIEN | 7 |
| 2.1 Mögliche Bezugsquellen für Wasserstoff als Kraftstoff | 7 |
| 2.2 Struktur der Nachfrage nach Wasserstoff als Kraftstoff | 9 |
| 3 KRAFTSTOFFVERSORGUNG MIT WASSERSTOFF | 10 |
| 4 TANKINFRASTRUKTUR FÜR WASSERSTOFFMOBILITÄT | 13 |
| 5 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN | 15 |
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 16 |
| QUELLEN | 18 |
| IMPRESSUM | 20 |



KURZFASSUNG

Wasserstoff gilt auch im Verkehrssektor als einer der Schlüssel zur Erreichung der Klimaschutzziele und kann andere alternative Antriebsformen ergänzen. Brennstoffzellenfahrzeuge sind insbesondere dort eine sinnvolle Ergänzung oder Alternative, wo große Reichweiten oder schwere Lasten gefragt sind. Potenzielle Märkte sind daher vor allem der Langstreckenverkehr auf Straße und Schiene, aber auch der Schiffs- und Flugverkehr. Der Bericht fokussiert auf den Straßenverkehr.

Damit Wasserstoffmobilität ihre Potenziale ausspielen kann, bedarf es einer bedarfsgerechten Kraftstoffversorgungs- und Tankinfrastruktur. Aktuell gibt es in Deutschland mehr als 90 Wasserstofftankstellen, die bisher hauptsächlich für die Pkw-Betankung ausgelegt sind. Bei zunehmenden Anteilen von schweren Nutzfahrzeugen muss der Infrastrukturaufbau dementsprechend angepasst werden.

Derzeit ist die Nachfrage nach Wasserstoff als Kraftstoff allerdings noch gering, was den wirtschaftlichen Aufbau und Betrieb von Wasserstofftankstelleninfrastruktur erschwert. Parallel zum Aufbau einer Infrastruktur müssen daher geeignete Mittel ergriffen werden, um die Entwicklung auf der Fahrzeugseite und einen Hochlauf der Fahrzeugzahlen voranzubringen. Mit diesem Bericht soll daher neben den notwendigen Rahmenbedingungen für den Aufbau der Tankinfrastruktur und der Kraftstoffversorgung die Bedeutung der Fahrzeug- und Anwenderseite unterstrichen werden.

Aus Sicht der Tankinfrastruktur und der Kraftstoffversorgung ist es insbesondere herausfordernd, dass sich

im Lkw-Bereich noch kein Betankungsstandard für den Kraftstoff herausgebildet hat. Die Betankung von Wasserstoff erfolgt im Pkw-Bereich im gasförmigen Zustand mit einem Druck von 700 bar. Für die Lkw-Betankung kommen aber auch 350 bar oder sogar flüssiger Wasserstoff infrage. Jede Variante hat spezifische Vor- und Nachteile. Aus Infrastruktursicht ist eine zeitnahe Harmonisierung wünschenswert, um Nachrüstungen oder im schlimmsten Fall sogenannte stranded Investments zu vermeiden.

Für die Versorgung mit Wasserstoff stehen verschiedene Varianten zur Verfügung, die jeweils für bestimmte Rahmenbedingungen und Kraftstoffvolumina sinnvoll sind. Der Bericht fokussiert hier auf die Varianten Belieferung über Trailer beziehungsweise Belieferung über Pipelines. Insbesondere für die zweite Option können sich Synergien ergeben mit dem geplanten Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur für die Industrie und der Umwidmung von Erdgasleitungen zu Wasserstoff.

Mit Blick auf die vorangegangenen Aspekte wird im Bericht empfohlen, dass insbesondere der Hochlauf der Nachfrage, also der entsprechenden Fahrzeuge, vorangebracht werden muss. Nur so ist langfristig ein tragfähiger, das heißt wirtschaftlicher, Betrieb der Infrastruktur möglich. Für den bedarfsgerechten Aufbau von Tankstelleninfrastruktur ist außerdem mehr Wissen über Fahrzeugplanungen und Standards notwendig. Ein Clean-Room-Prozess mit den Fahrzeugherstellern oder auch Interessenbekundungsverfahren auf der Nachfrageseite wären hierfür empfehlenswert.

EXECUTIVE SUMMARY

Hydrogen, a suitable complement to other alternative drive technologies, is seen as one of the key solutions in the quest to achieve climate targets, not only in transport. Fuel cell vehicles are a particularly pertinent supplement or alternative in areas requiring long ranges or heavy loads. Therefore, potential markets are long-distance traffic on road and rail, as well as sea and air transport. This report focusses on road transport.

To enable hydrogen mobility to leverage its full potential, a needs-based fuel supply and refuelling infrastructure is required. There are currently more than 90 hydrogen fuel stations in Germany which are so far mainly geared towards refuelling cars. With an increase in the share of heavy commercial vehicles, infrastructure expansion will need to be adapted accordingly.

At the moment, demand for hydrogen as fuel is still low, which stands in the way of profitable development and operation of the hydrogen filling station infrastructure. In parallel with infrastructure development, appropriate measures need to be taken to promote the development of vehicles and the ramp-up of vehicle numbers. Besides the necessary framework conditions for the development of filling infrastructure and fuel supply, this report highlights necessary measures in terms of vehicles and users.

When it comes to filling infrastructure and fuel supply, the fact that no refuelling standard has been set for HGVs remains a particular challenge. Cars are filled with gaseous hydrogen at a pressure of 700 bar. HGVs could be filled at 350 bar or even with liquid hydrogen. Each option comes with its own advantages and disadvantages. From an

infrastructure perspective, prompt harmonisation would be welcome to avoid retrofitting or – at worst – stranded investments.

Supply with hydrogen can be ensured via different options, each of which being appropriate for different conditions and fuel volumes. The report focusses on the options of supply via hydrogen trailers or hydrogen pipelines. With regard to the latter option, synergies are likely to develop as a result of the planned development of hydrogen infrastructure for industrial applications and the repurposing of gas pipelines to carry hydrogen.

In light of all of the above, the report recommends that demand for the relevant vehicles needs to be boosted. In the long term, this is the only way towards sustainable, i. e. profitable, operation of the respective infrastructure. In order to ensure a needs-based development of refuelling infrastructure, more knowledge of vehicle design and standards is required. A clean-room process with vehicle manufacturers or an expression-of-interest procedure are highly recommended.

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Im Sommer 2020 wurde sowohl die Europäische Wasserstoffstrategie als auch die deutsche Nationale Wasserstoffstrategie veröffentlicht. Beide Strategien sehen im Verkehrssektor einen Einsatzschwerpunkt von Wasserstoff (H₂), insbesondere für den Schwerlastverkehr. Brennstoffzellenfahrzeuge sind insbesondere dort eine sinnvolle Ergänzung oder Alternative, wo große Reichweiten oder schwere Lasten gefragt sind. Potenzielle Märkte sind daher vor allem der Langstreckenverkehr auf Straße und Schiene, aber auch der Schiffs- und Flugverkehr. Wasserstoffmobilität zeichnet sich dadurch aus, dass sie im Fahrbetrieb emissionsfrei ist. Für die Nutzer:innen bietet das Tanken von Wasserstoff außerdem den Vorteil, dass der Tankvorgang sich nicht wesentlich von dem von konventionellen Fahrzeugen unterscheidet. Wasserstoffmobilität ist also dazu geeignet, in zahlreichen Anwendungen im Verkehr andere alternative Mobilitätsformen zu ergänzen. Verschiedene Studien kommen außerdem zu dem Schluss, dass es auch aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist, eine duale Infrastruktur für batterieelektrische und Brennstoffzellenfahrzeuge aufzubauen, da sich beide ergänzen können (Forschungszentrum Jülich 2018, Ludwig-Bölkow-Stiftung 2019).

Gleichzeitig steht die Wasserstoffmobilität noch am Anfang ihrer Marktentwicklung, es sind bisher im Vergleich zu anderen Alternativen nur wenige Fahrzeugmodelle verfügbar. Vor dem Hintergrund sich verschärfender Klimaschutzziele für das Jahr 2030 besteht nun Handlungsdruck, die Weichen auch für diese alternative Antriebsform zu stellen.

Das Thema der Wasserstoffmobilität ist in der Nationalen Plattform Zukunft der Mobilität unter anderem bereits im Bericht Roadmap PtX (NPM 2019a) sowie in Berichten zu alternativen Kraftstoffen (NPM 2020a und 2021a) aufgegriffen worden. Der vorliegende Bericht wird aufbauend auf beziehungsweise ergänzend zu diesen Arbeiten insbesondere beleuchten, welche Infrastruktur für die Vertankung von Wasserstoff als Kraftstoff notwendig ist, wie diese mit Kraftstoff beliefert werden kann und welche Rahmenbedingungen dafür notwendig sind.

Auf europäischer Ebene wurde 2014 die Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFID) verabschiedet, um die Entwicklung von Tankstellen und Ladestationen für alternative Kraftstoffe zu fördern (Europäisches Parlament/Europäischer Rat 2014). Hierin werden auch technische Interoperabilitätsvorgaben für die Wasserstofftankinfrastruktur gemacht. Die Richtlinie soll im Rahmen des European Green Deals überarbeitet werden. Ein Legislativvorschlag wird noch im Jahr 2021 erwartet. In Umsetzung der AFID hat die Bundesregierung einen Nationalen Strategierahmen (NSR) erstellt. Die festgesetzten Ausbauziele für alternative Tank- und Ladeinfrastruktur werden regelmäßig überprüft und entsprechende Maßnahmen abgeleitet. Aufbauend auf einem Basisnetzwerk für Pkw sowie leichte Nutzfahrzeuge liegt der Schwerpunkt derzeit auf der Erweiterung der Wasserstofftankstellen mit Fokus auf schwere Nutzfahrzeuge, der sich an dem Hochlauf von Fahrzeugen orientieren soll.

In Deutschland ist bereits eine Tankinfrastruktur für Wasserstoffmobilität im Aufbau. Aktuell ist ein Basisnetzwerk mit 91 Tankstellen in Betrieb (H2 MOBILITY, o. J.). Diese sind aktuell insbesondere auf Pkw ausgerichtet. Aufgrund des mittlerweile stärkeren Fokus auf dem Schwerlastverkehr stellt sich die Frage, wie die Infrastruktur dahingehend entwickelt werden kann.

Dafür sollen im Rahmen dieses Berichts die Rahmenbedingungen für verschiedene Optionen der Kraftstoffversorgung und für die Tankinfrastruktur untersucht werden (siehe Abbildung 1). Beides zusammen wird im Bericht als die Infrastruktur betrachtet, die speziell für Wasserstoffmobilität notwendig ist beziehungsweise spezifische Merkmale für den Einsatz von Wasserstoff im Mobilitätssektor aufweist. Für die Betrachtung von Bezugsquellen und -szenarien sowie Fahrzeugprognosen wird auf bereits existierende NPM-Berichte und externe Quellen zurückgegriffen. Im Bericht soll sowohl die aktuelle Situation als auch die Perspektive bis 2030 aufgezeigt werden.

ABGRENZUNG DER INHALTE DES ARBEITSPAKETS

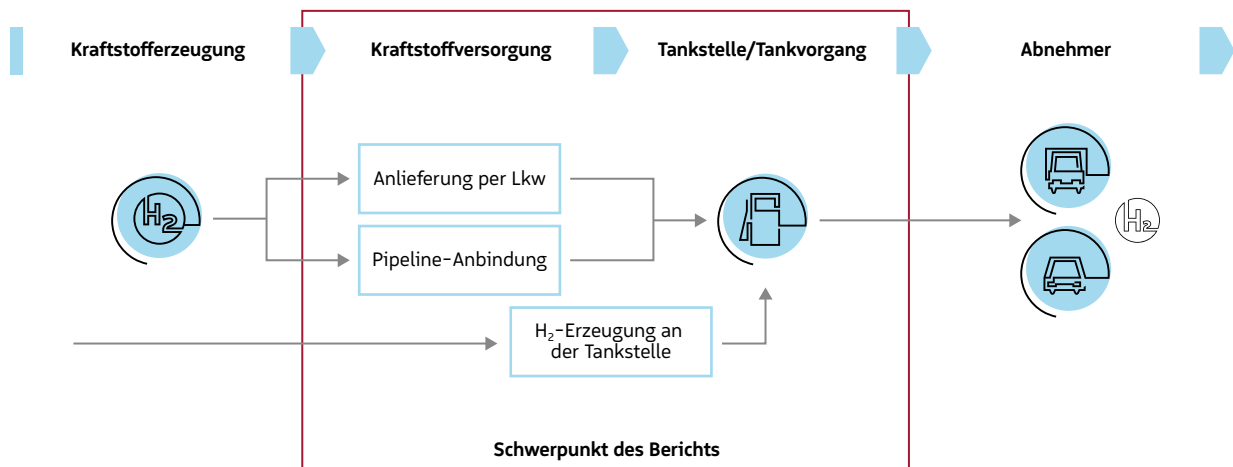


Abbildung 1: Schwerpunkte und Abgrenzung des Berichts
Quelle: eigene Darstellung

Der Bericht fokussiert auf den Straßenverkehr und betrachtet die drei Versorgungsvarianten der Lkw-Belieferung, der Pipeline-Anbindung und der Onsite-Elektrolyse. Für die Anlieferung kommen grundsätzlich auch die Anlieferung per Kesselwagen (Zug) oder Container auf dem Binnenschiff infrage. Sie sollen im Rahmen dieses Berichts

aber nicht betrachtet werden. Die sich aus dieser Betrachtung ableitenden Handlungsempfehlungen stellen insbesondere auch mit Blick auf die Bundestagswahl 2021 entscheidende Aspekte für positive Rahmenbedingungen für den Aufbau einer bedarfsgerechten Infrastruktur für Wasserstoffmobilität dar.

2 ANNAHMEN UND SZENARIEN

2.1 MÖGLICHE BEZUGSQUELLEN FÜR WASSERSTOFF ALS KRAFTSTOFF

Aktuell wird in der Mobilität überwiegend sogenannter grauer Wasserstoff eingesetzt. Diese Wasserstoffproduktion erfolgt durch thermische Konversion aus fossilen Energieträgern. Wichtigster Herstellungsprozess ist dabei die Dampfreformierung, bei der aus Erdgas und Wasser Wasserstoff und Kohlendioxid entstehen. Außerdem wird Wasserstoff genutzt, der in industriellen Prozessen als Abfallprodukt entsteht.

Damit Wasserstoffmobilität nicht nur im Fahrbetrieb emissionsfrei ist, sondern auch bei der ganzheitlichen Betrachtung von Kraftstoff und Fahrzeug (Well-to-Wheel) keine Emissionen anfallen, ist es notwendig, zunehmend auf andere Erzeugungswege für den Kraftstoff zu setzen. Hierbei kommen grundsätzlich der Pfad über Erdgas mit Abscheidung und Speicherung oder Nutzung von CO₂ (blauer Wasserstoff) beziehungsweise mit Abscheidung und Speicherung oder Nutzung von festem Kohlenstoff (türkiser Wasserstoff¹) sowie der Pfad über die Erzeugung

¹ Über Nutzung des Pyrolyse-Verfahrens

aus Strom (Power-to-Gas) infrage. Wenn bei letzterem Pfad erneuerbarer Strom eingesetzt wird, entsteht erneuerbarer beziehungsweise grüner Wasserstoff. Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) erkennt diesen zur Anrechnung auf das EE-Ziel im Verkehrssektor an. An einzelnen Tankstellen, die überwiegend im Zusammenhang mit Power-to-Gas-Anlagen entstanden sind, kommt bereits erneuerbarer Wasserstoff zum Einsatz. Im letzten Förderaufruf aus dem Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) Phase 2 des BMVI wurden daher Wasserstofftankstellen gefördert, deren Anteil an grünem Wasserstoff mindestens 50% beträgt.

Derzeit befinden sich in Deutschland über 40 PtG-Anlagen im Bau oder sind bereits in Betrieb (BDEW, o. J.). Die meisten dieser Anlagen sind als Pilot- und Projektanlagen mit einer Elektrolyseleistung bis maximal 6 MW konzipiert. Durch die Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie

soll nun auch der Aufbau von Elektrolyseuren im Industriemaßstab angereizt werden.

Annahmen zur zukünftigen regionalen Verteilung der Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff zeigen, dass hierfür vor allem der Norden Deutschlands hohe Potenziale aufweist (FfE 2019). Dennoch bestehen durch Onshore-Windenergie und PV-Anlagen in ganz Deutschland erhebliche dezentrale Erzeugungsmöglichkeiten, um erneuerbare Energien über Sektorenkopplung unter anderem in Wasserstoff umzuwandeln. Damit kann sowohl zur Flexibilisierung des Stromsystems als auch zur Dekarbonisierung der Sektoren beigetragen werden, in denen der grüne Wasserstoff verwendet werden kann. Abbildung 2 zeigt die möglichen Vermarktungswege für die Erzeuger von erneuerbarem Wasserstoff, von denen der Einsatz im Verkehrssektor aufgrund der in diesem Segment realisierbaren Preise ein womöglich früh wirtschaftlicher Pfad ist.

VERMARKTUNGSWEGE VON ERNEUERBAREM WASSERSTOFF

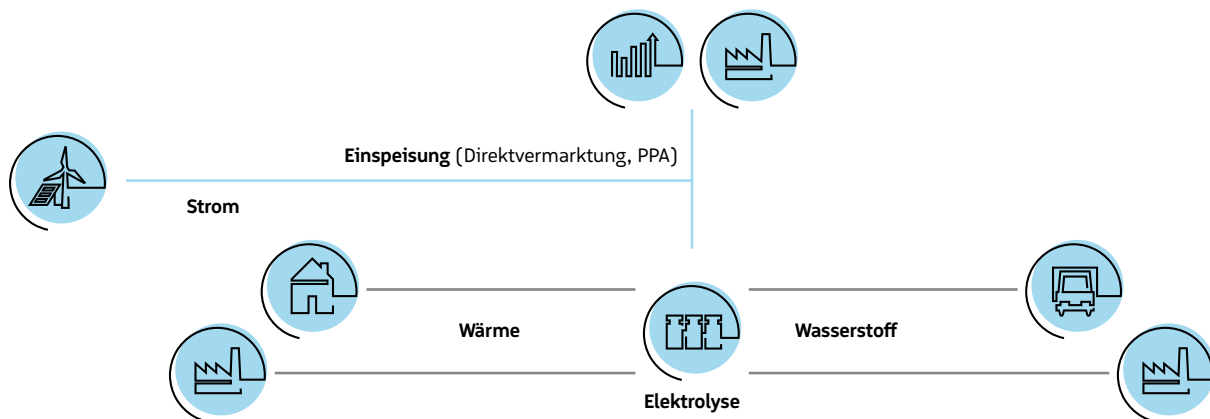


Abbildung 2: Vermarktungswege von erneuerbarem Wasserstoff
Quelle: eigene Darstellung

Die Belieferung von Verbraucher:innen außerhalb von Regionen mit erneuerbarer Wasserstoffherzeugung kann zum Beispiel über eine entsprechende Infrastruktur erfolgen. Gleichzeitig können die Potenziale durch Importe und durch Mengen aus anderen Erzeugungspfaden für klimaneutralen Wasserstoff ergänzt werden.²

Es ist generell auch möglich, den Wasserstoff direkt am Standort der Tankstelle elektrolytisch zu erzeugen. Die wirtschaftlichen Potenziale für On-Site-Elektrolyse sind stark von eventuell vorhandener Erzeugung von erneuerbaren Stromquellen und von Skaleneffekten, auch in der

Abnahme, abhängig. Für diesen Spezialfall der dezentralen Elektrolyse entstehen relativ hohe spezifische Kosten für den Elektrolyseur, gleichzeitig entfallen die Transportkosten für den Kraftstoff gänzlich. Zu beachten ist auch, dass mit dem Betrieb eines Elektrolyseurs als Wasserstoffherzeugungsanlage bestimmte genehmigungsrechtliche und emissionsschutzrechtliche Vorgaben einhergehen, die insbesondere im urbanen Umfeld Herausforderungen bei der Umsetzung bergen, zum Beispiel durch die Einhaltung bestimmter Lärmgrenzwerte oder durch die erforderliche Öffentlichkeitsbeteiligung.

² Weitere Ausführungen zu den Energiebedarfen, die durch den Hochlauf alternativer Antriebe und Kraftstoffe entstehen können, finden sich im Bericht *Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe der NPM (2021b)*.

2.2 STRUKTUR DER NACHFRAGE NACH WASSERSTOFF ALS KRAFTSTOFF

Die Nachfrage nach Wasserstoff als Kraftstoff und damit der Hochlauf der entsprechenden Fahrzeuge sind entscheidende Faktoren für den Aufbau einer bedarfsgerechten Tankinfrastruktur, die möglichst wirtschaftlich betrieben werden sollte.

Aktuell ist der Bestand an Brennstoffzellenfahrzeugen in Deutschland noch gering. Für das Jahr 2020 führt das Kraftfahrt-Bundesamt 860 zugelassene Fahrzeuge, davon 808 Pkw und 52 Busse und andere Nutzfahrzeuge (Kraftfahrt-Bundesamt 2021; Busse und Nfz nach Auskunft des KBA).

Innerhalb der NPM wurden bereits Abschätzungen zur Entwicklung der Fahrzeugzahlen getroffen. Die AG 1 hat beispielsweise 2019 in ihrem Zwischenbericht (NPM 2019b) eine Spanne von 0 bis 1,8 Millionen Pkw und von 115.000 bis 316.000 elektrifizierten Lkw und Bussen angegeben, bei denen Brennstoffzellenfahrzeuge eine Option neben batterieelektrischen und Oberleitungsfahrzeugen darstellen.

Auch verschiedene andere Institutionen haben bereits Abschätzungen zum Fahrzeughochlauf veröffentlicht: Im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung aus dem Jahr 2019 werden bei Nutzfahrzeugen 1.888 Neuzulassungen bis 2030 angenommen. Die dena geht in zwei verschiedenen Szenarien von einem Bestand von 758.383 beziehungsweise 1.655.323 Brennstoffzellenfahrzeugen im Jahr 2030 aus (dena 2018, Elektrifizierungsszenario [EL80] und Technologiemixszenario [TM80]). Erst 2020 hat auch der Nationale Wasserstoffrat Schätzungen zu einem Fahrzeughochlauf abgegeben und geht im Jahr 2030 von 334.000 Fahrzeugen aus (Wasserstoffrat 2020).

Dieses breite Zahlenspektrum zeigt, dass die Entwicklung der Fahrzeugzahlen sehr unterschiedlich eingeschätzt wird, auch hinsichtlich der Anteile bestimmter Fahrzeugklassen.

Im Werkstattbericht zu Nutzfahrzeugen der NPM wurde insbesondere für die deutschen Nutzfahrzeughersteller erst ab Mitte der 2020er-Jahre mit einem entsprechenden Hochlauf von Brennstoffzellen-Nfz gerechnet (NPM 2020b).

Gleichzeitig haben internationale Hersteller bereits erste Modelle im Angebot, für die es sowohl in Deutschland als auch in den Nachbarländern schon konkrete Nachfragen gibt. Insofern kann eine Infrastruktur für Nfz für erste Hauptverkehrswege bereits vor 2025 sinnvoll sein. Auf dieser Basis ist der Aufbau einer bedarfsgerechten Tankstelleninfrastruktur schwer abzuschätzen. Für eine zukunftsgerichtete Infrastruktur, die die aktuellen Entwicklungen antizipieren kann, wäre es sinnvoll, hier in geordneten Prozessen sowohl zu Planungen und Prognosen der OEM zu informieren als auch zu der Entwicklung der Bedarfe auf der Nutzerseite. Der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) hat in einer Abfrage beispielsweise ermitteln können, dass unter den befragten Unternehmen geplant ist, bis 2030 954 Busse zu beschaffen.

Eine Abschätzung von Kraftstoffbedarfen aus diesen Fahrzeugprognosen abzuleiten, ist ungleich schwieriger, da für einzelne Fahrzeugtypen sehr unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten und damit einhergehende Laufleistungen angenommen werden können. Abbildung 3 zeigt, welche möglichen Energiebedarfe sich für verschiedene Fahrzeugzahlen in der Kombination unterschiedlicher Fahrzeugklassen ergeben könnten. Dabei wurde für alle Fahrzeugklassen davon ausgegangen, dass sie in Use-Cases genutzt werden, die eine relativ hohe jährliche Laufleistung erfordern.

| FAHRZEUG-# (ÜBER ALLE FAHRZEUG-KLASSEN) | | 50.000 | 100.000 | 1.000.000 |
|--|--|--------------|--------------|---------------|
| PKW | Spezifischer Verbrauch (in kg H ₂ /100 km) | 1 | 1 | 1 |
| | Jährliche Laufleistung (in km/Jahr) | 25.000 | 25.000 | 25.000 |
| | Gesamtverbrauch Fahrzeugklasse (in 1000 t/Jahr) | 9,4 | 18,8 | 187,5 |
| LEICHTE NUTZFAHRZEUGE | Spezifischer Verbrauch (in kg H ₂ /100 km) | 2 | 2 | 2 |
| | Jährliche Laufleistung (in km/Jahr) | 500.000 | 500.000 | 500.000 |
| | Gesamtverbrauch Fahrzeugklasse (in 1000 t/Jahr) | 75 | 150 | 1.500 |
| SCHWERE NUTZ-FAHRZEUGE/BUSSE | Spezifischer Verbrauch (in kg H ₂ / 100 km) | 9 | 9 | 9 |
| | Jährliche Laufleistung (in km/Jahr) | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| | Gesamtverbrauch Fahrzeugklasse (in 1000 t/Jahr) | 45 | 90 | 900 |
| GESAMTVVERBRAUCH ALLER FAHRZEUG-KLASSEN* IN 1000 t/JAHR | | 129,4 | 258,8 | 2587,5 |

*Gewichtung entsprechend der Gewichtung des Nationalen Wasserstoffrats für 2030: 75%/15%/10%

Abbildung 3: Energieverbrauch von Brennstoffzellenfahrzeugen verschiedener Fahrzeugklassen für verschiedene Fahrzeugszenarien
Quelle: Forschungszentrum Jülich 2018

Diese Kraftstoffbedarfe können in der Praxis abweichen, da sie stark von der Art der Nachfrage abhängen. Grundsätzlich gilt, dass der Kraftstoffbedarf für Pkw erheblich geringer ist als für Lkw. Zudem sind Lkw in der Regel wesentlich häufiger im Einsatz und weisen deutlich höhere Laufleistungen auf. Die Nachfrage kann daher insbesondere in der Phase des Markthochlaufs regional sehr unterschiedlich ausfallen und zum Beispiel im Fall eines ÖPNV-Betreibenden oder eines Speditionsunternehmens sehr hoch sein.

Die Attraktivität von Wasserstoff als Kraftstoff ist auch abhängig von den relativen Kosten im Vergleich zu anderen

Kraftstoffen. Die sogenannten Total Cost of Ownership sind für Brennstoffzellenfahrzeuge im Moment sehr hoch. Dies ergibt sich zum einen aus hohen Fahrzeugpreisen und zum anderen aus dem Preis des Kraftstoffs selbst. Im Pkw-Segment besteht bereits Parität bei den Kraftstoffkosten. Für den Lkw-Bereich wird dies angestrebt, denn insbesondere im preissensiblen Speditions-gewerbe sind die Betriebskosten ein entscheidender Faktor, der gegebenenfalls kompensiert werden muss. Gleichzeitig ist es notwendig, durch regulatorische Maßnahmen wie die bereits geplante EEG-Umlagebefreiung für grünen Wasserstoff die Erzeugungskosten zu senken.

3 KRAFTSTOFFVERSORGUNG MIT WASSERSTOFF

Die Betankung von Pkw mit Wasserstoff erfolgt im gasförmigen Zustand bei 700 bar. Insbesondere im Lkw-Bereich hat sich ein solcher Standard allerdings noch nicht herausgebildet. Für den Lkw-Verteilverkehr, der mit geringen Reichweiten auskommt, kristallisiert sich bereits ein Druck von 350 bar als Lösung heraus. Für die Langstrecke werden derzeit noch unterschiedliche Optionen wie ein Druck von 700 bar oder flüssiger Wasserstoff diskutiert. Eine klare Tendenz ist derzeit noch nicht erkennbar.

Die komprimierten gasförmigen Optionen sind derzeit technologisch ausgereifter als die Nutzung von flüssigem Wasserstoff. Ein wesentlicher Vorteil von flüssigem Wasserstoff ist seine hohe Energiedichte, die das Fahren längerer Strecken ermöglicht. Mit gasförmigem Wasserstoff bei 700 bar wären auch Reichweiten von 800 bis 1.000 km je nach Fahrzeuggröße und Tankvolumen möglich. Dies ist für viele Schwerlast- und Langstrecken-anwendungen ausreichend. Abbildung 4 bietet einen Überblick über den aktuellen technischen Stand der drei Kraftstoffoptionen für schwere Nutzfahrzeuge.



Abbildung 4: Aktueller Status der möglichen H₂-Kraftstoffrouten für schwere Nfz
 Quelle: eigene Darstellung nach FCH 2 JU 2020

Die bisher nicht erfolgte Standardisierung auf der Fahrzeugseite ist ein Hemmnis für die gesamte Wertschöpfungskette von der Lkw-Entwicklung über die Wasserstoffproduktion und -speicherung bis hin zur Betankung. Derzeit gibt es keinen koordinierten Branchenansatz, da verschiedene OEMs unterschiedliche Lösungswege verfolgen (FCH 2 JU 2020).

Grundsätzlich sind beide Aggregatzustände auch bei der Kraftstoffversorgung denkbar. Diese kann sowohl für flüssigen als auch für gasförmigen Wasserstoff durch eine Trailerbelieferung erfolgen. Gasförmiger Wasserstoff bei 700 bar bietet zusätzlich mehr Flexibilität, beispielsweise durch Pipelineversorgung oder Elektrolyseproduktion vor Ort. Bei einem Transport per Schiff, zum Beispiel bei Importen, ist wiederum flüssiger Wasserstoff sinnvoll. Aus Sicht der Tankstelleninfrastrukturbetreibenden ist hier eine zügige Standardisierung wünschenswert, um Nachrüstungen von Tankstellen zu vermeiden.

Für den wirtschaftlichen Betrieb von Wasserstoffpipelines sind bestimmte Volumina erforderlich. Die dafür notwendige Fahrzeugzahl (Pkw) wird hierbei in manchen

Studien deutlich über einer Million Fahrzeuge gesehen (Forschungszentrum Jülich 2018). Auf Basis der in Kapitel 3 beschriebenen Nachfrageprognosen erscheint eine allgemeine Pipelineversorgung von Wasserstofftankstellen bis 2030 nicht wahrscheinlich. Allerdings kann dies bei einzelnen Standorten gegebenenfalls doch auch schon früher wirtschaftlich und technisch sinnvoll sein, wenn sie zum Beispiel als große Lkw-Tankstelle an einem Verkehrsknotenpunkt einen entsprechenden Kraftstoffumsatz aufweisen. Abschätzungen zufolge könnten die Kosten einer Pipelineanbindung ab einem Mengenumsatz von 2 bis 3 t Wasserstoff pro Tag an einer Tankstelle darstellbar sein.³

Für die zukünftige Pipelineanbindung von Tankstellenstandorten könnten sich Synergieeffekte mit dem geplanten Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur ergeben, wie er insbesondere zur Belieferung der Industrie gedacht ist. Die deutschen Fernleitungsnetzbetreibenden haben hierfür bereits Pläne veröffentlicht, die auch den Aufbau einer grenzüberschreitenden Infrastruktur einschließen (Wang et al. 2020). Abbildung 5 zeigt, wie sich dieses Netz auf Basis der bestehenden Fernleitungsinfrastruktur bis 2030 entwickeln kann.

³ Basierend auf Aussagen von H2 MOBILITY

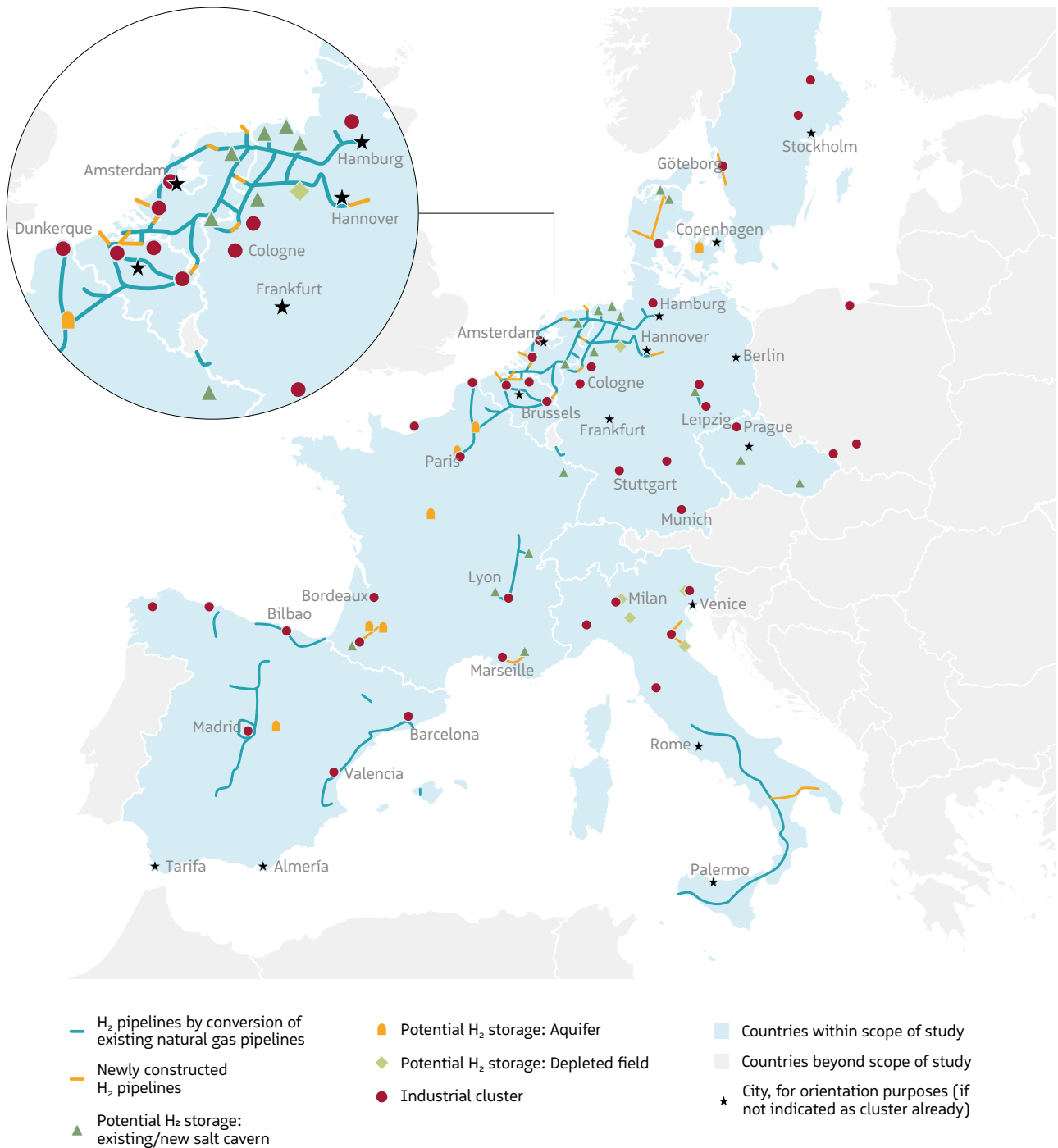


Abbildung 5: Sogenannter Hydrogen Backbone basierend auf dem heutigen Gasfernleitungsnetz bis 2030
 Quelle: Wang et al. 2020

Zahlreiche aktuell geplante Projekte beinhalten bereits die Umwidmung von Erdgasleitungen zu Wasserstoffleitungen. Mit der diesjährigen Novelle des Energiewirtschaftsgesetzes sollen hierfür auch die rechtlichen und regulatorischen Voraussetzungen geschaffen werden.

Mit dem fortschreitenden Aufbau dieser Infrastruktur ergeben sich Möglichkeiten für eine direkte Pipelineanbindung von entsprechend gelegenen und nachgefragten Tankstellen als auch für „gemischte“ Versorgungskonzepte, in denen ein Teil der Belieferung per Pipeline erfolgt und beispielsweise die sogenannte „letzte Meile“ bis zum Tankstellenstandort über Lkw abgedeckt wird.

4 TANKINFRASTRUKTUR FÜR WASSERSTOFFMOBILITÄT

Für den Aufbau einer bedarfsgerechten Tankinfrastruktur sind verschiedene mögliche Anwendungsfälle mit unterschiedlichen Anforderungen zu betrachten. Grundsätzlich kann zwischen öffentlichem Tanken und dem Tanken auf Betriebshöfen beziehungsweise in Depots unterschieden werden. Größter Unterschied ist hierbei der regulatorische

Rahmen: Öffentliche Tankstellen müssen zum Beispiel den AFID-Anforderungen entsprechen. Abbildung 6 zeigt auf, welche hauptsächlichen Use-Cases für die Nutzung der Wasserstofftankinfrastruktur existieren, wodurch sie sich auszeichnen und welche Rahmenbedingungen gegebenenfalls noch offen sind.




| |  PKW+ LEICHTE NFZ |  LKW |  BUSSE | | |
|------------------------------------|--|---|---|---|---|
| AGGREGAT-ZUSTAND/ DRUCK | Gasförmig, 700 bar | Noch nicht festgelegt, ob gasförmig 350 oder 700 bar oder flüssig | Stadtbusse: 350 bar Fernbusse: Standard auch hier noch offen, Anforderungen ähnlich wie beim Langstrecken-Lkw. | | |
| STANDARD-TANKVORGANG | Vorhanden | Tankprotokoll für 350 bar vorhanden, Tankprotokoll für 700 bar oder flüssig fehlt noch (in Arbeit) | Tankprotokoll für 350 bar vorhanden, Tankprotokoll für 700 bar oder flüssig fehlt noch (in Arbeit) | | |
| STANDORT-PLANUNG | | Öffentliches Tanken | Tanken auf Betriebshof | Öffentliches Tanken | Tanken auf Betriebshof |
| | | Fehlende Lernkurve, Genehmigungs- verfahren | | Fehlende Lernkurve, Genehmigungs- verfahren | |
| KUNDEN-NUTZEN-TANKVORGANG | Tankkomfort ähnlich wie bei konventionellen Kraftstoffen, keine techni- schen Pausen spürbar | Öffentliches Tanken | Tanken auf Betriebshof | Öffentliches Tanken | Tanken auf Betriebshof |
| | | Technische Pausen sind möglich, abhängig von Tankstellen- auslegung, bei steigenden Fahr- zeugzahlen wird immer bessere Back-to-Back- Kapazität notwendig | Sehr gute Back- to-back-Kapazität notwendig, da viele Tankvorgänge hintereinander, wenn Fahrzeuge z. B. abends auf den Betriebshof zurückkehren | Technische Pausen sind möglich, abhängig von Tankstellen- auslegung, bei steigenden Fahr- zeugzahlen wird immer bessere Back-to-Back- Kapazität notwendig | Sehr gute Back- to-back-Kapazität notwendig, da viele Tankvorgänge hintereinander, wenn Fahrzeuge z. B. abends auf den Betriebshof zurückkehren |

Abbildung 6: Verschiedene Use-Cases Tankinfrastruktur: Rahmenbedingungen und offene Fragen
Quelle: eigene Darstellung

Wie bereits beschrieben, fehlt insbesondere bei den schweren Nutzfahrzeugen auf der Fahrzeugseite noch die Festlegung auf einen Aggregatzustand des Kraftstoffs beziehungsweise auf die Druckstufe des gasförmigen Kraftstoffs. Wenn hier nicht zeitnah eine Standardisierung erfolgt, drohen auf Infrastrukturseite Mehrkosten durch

Umrüstungen. Dabei sichert gerade in der Markthochlaufphase ein größerer und regelmäßiger Abnehmer wie der Güterverkehr oder der ÖPNV die Wirtschaftlichkeit eines Tankstellenstandortes. Die frühzeitige Auslegung auf die entsprechenden Fahrzeugklassen ergibt also Sinn.

Gleichzeitig fehlen die Erfahrungswerte, zum Beispiel hinsichtlich Total Cost of Ownership, technischer Machbarkeit etc., um eine finale Entscheidung bezüglich des Technologie-Rollouts zu treffen. Grundsätzlich müssen die Tankstellen vor allem bedarfsgerecht aufgebaut werden. Das heißt, an den ersten Pilotstrecken sollte eine enge Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fahrzeugherstellern erfolgen.

Für schwere Nutzfahrzeuge fehlt zumindest für die Kraftstoffrouten „Gasförmig 700 bar“ und „flüssig“ bisher auch noch ein standardisiertes Tankprotokoll. Dieses ist wichtig, um unter anderem sowohl eichrechtliche als auch sicherheitstechnische Anforderungen zu erfüllen. Hierzu wurde auf EU-Ebene das Projekt PRHYDE angestoßen, dessen Ergebnisse in die Entwicklung einer entsprechenden ISO-Norm überführt werden. Hierzu hat in der ISO/TC 197 bereits die Arbeit an einem sogenannten New Work Item begonnen.

Neben den bereits angesprochenen Standardisierungsfragen sind für eine rasche Marktdurchdringung außerdem effiziente und möglichst einheitliche Genehmigungsverfahren für den Tankstellenbau notwendig. Für den Bau von Wasserstofftankstellen bedarf es einer ausreichenden Anerkennung technischer Standards und Normen. Die NOW hat hierfür einen Genehmigungsleitfaden erstellt, der aktuell überarbeitet wird. Grundsätzlich unterliegen

Tankstellen jedoch mehreren Rechtsgebieten mit eigenen Genehmigungs- und Erlaubnisverfahren. Auch ist die behördliche Zuständigkeit für das Genehmigungsverfahren in den Bundesländern unterschiedlich geregelt. Daher fordern unterschiedliche Behörden neben den für das BImSchG-Verfahren notwendigen Dokumenten weitere Unterlagen an, abhängig von ihrem Rechtsgebiet. Daraus ergibt sich auch, dass die Dauer des Genehmigungsverfahrens fall-spezifisch unterschiedlich ist und sich oft ein iterativer Prozess ergibt, der nicht berechenbar ist.

Der Tankvorgang selbst ist für die Anwender:innen ähnlich wie bei der Betankung eines konventionellen Kraftstoffs, was den generellen Komfort und die Dauer angeht. Je nach Auslegung der Tankstelle kann es sein, dass nach einer bestimmten Abgabemenge von Kraftstoff eine kurze Pause notwendig ist, damit der Kompressor entsprechend nachkommen kann. In der Realität stellt dies aber insbesondere für Pkw keine Restriktion dar, da zwischen einzelnen Tankvorgängen diverse Rahmenschritte wie das Autorisieren an der Zapfsäule oder das An- und Abkoppeln stattfinden. Im Bereich der Lkw-Betankung können gewisse zeitliche Restriktionen auftreten, die über die Auslegung der Peaklast der Tankstelle steuerbar sind. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass Tankstellen in Abhängigkeit des Bedarfs ausgelegt werden. Sie sollten also kein „Bottleneck“ für die Mobilität darstellen, wenn die Auslegung entsprechend wirtschaftlich darstellbar ist.

5 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Aktuell sind ein wirtschaftlicher Aufbau und Betrieb von Wasserstofftankstelleninfrastruktur nur schwer möglich. Wenn diese politisch gewollt ist, wird daher bis auf Weiteres finanzielle Unterstützung notwendig sein, um entsprechende Infrastruktur für den erwarteten Markthochlauf bereitzustellen.

Allgemein lässt sich festhalten, dass eine entsprechende Nachfrage notwendig ist, um eine Tankstelleninfrastruktur wirtschaftlich zu betreiben. Es sind daher geeignete Mittel zu ergreifen, um die Entwicklung auf der Fahrzeugseite voranzubringen. Die Rolle des Wasserstoff-Pkw wird zunehmend kontrovers diskutiert, kann aber insbesondere auf der Langstrecke eine sinnvolle Ergänzung zur batterieelektrischen Mobilität sein und den Umstieg auf eine alternative Antriebsform auch für diese Nutzergruppe erleichtern. Für den bedarfsgerechten und zukunftsgerichteten Aufbau von Tankstelleninfrastruktur ist außerdem mehr Wissen über Fahrzeugplanungen und Standards bei den schweren Nutzfahrzeugen notwendig, da diese erwartbar einen immer größeren Anteil an der Nutzung der Infrastruktur haben werden. Ein seriöser Clean-Room-Prozess mit den Fahrzeugherstellern sowie Interessenbekundungsverfahren auf der Nachfrageseite wären hierfür zielführend.

Der Hochlauf der Wasserstoffmobilität kann entscheidend vom allgemeinen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft profitieren. Er sollte daher in einem ganzheitlichen regulatorischen Ansatz mitbedacht werden, zum Beispiel bei der Regulierung für den Aufbau von Wasserstoffnetzen.

Die Attraktivität der Wasserstoffmobilität ist außerdem davon abhängig, dass die Kraftstoffpreise als Teil der Total Cost of Ownership im relativen Vergleich konkurrenzfähig sind. Alle regulatorischen Maßnahmen, die zur Senkung der Wasserstoffherstellungskosten beitragen, sind in diesem Sinne zu begrüßen.

Folgende Handlungsempfehlungen ergeben sich darüber hinaus für die AG 5 hinsichtlich der Kraftstoffversorgung:

- Es ist politisch noch zu klären, welche Rahmenbedingungen für welchen Wasserstoff gelten sollen. Es wird hierbei für einen pragmatischen Ansatz für den Hochlauf plädiert, ähnlich wie er in der Nationalen Wasserstoffstrategie gewählt ist, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.
- Der Aufbau von Wasserstoffnetzen ist politisch weiter zu unterstützen, um Versorgungsoptionen jenseits einer reinen Lkw-Belieferung aufzubauen, insbesondere über lange Distanzen. Dazu sollten weitere Verwertungspfade (zum Beispiel in Industrie und Wärmeversorgung) mitbetrachtet werden, um Insellösungen zu vermeiden und eine gesamtsystemisch optimale Infrastruktur aufzubauen.

Folgende Handlungsempfehlungen ergeben sich darüber hinaus für die AG 5 hinsichtlich der Tankinfrastruktur:

- Das Aufsetzen eines sinnvollen Prozesses zur Standardisierung der Kraftstoffversorgung (gasförmig – Druckstufe versus flüssig) kann aufwändige Nachrüstung von Tankstellen – insbesondere den öffentlichen – verhindern. Wünschenswert wäre hier eine Roadmap, die Forschung und Entwicklung sowie Normung/Standardisierung gemeinsam denkt.
- Für effizientere Genehmigungsverfahren ist eine Vernetzung von Behörden zum Erfahrungsaustausch empfehlenswert. Dadurch könnten Genehmigungsverfahren und deren Dauer einheitlicher gestaltet werden.
- Multi-User-Tankstellen sollten unterstützt werden, um Synergien zwischen Pkw und Nfz zu nutzen und die Auslastung der Tankstellen zu steigern.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|------------------------|--|
| AFID | Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (2014/94/EU) |
| AG | Arbeitsgruppe |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BMVI | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur |
| CO₂ | Kohlenstoffdioxid |
| dena | Deutsche Energie-Agentur GmbH |
| EE | Erneuerbare Energien |
| EEG | Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz) |
| EU | Europäische Union |
| F & E | Forschung und Entwicklung |
| H₂ | Wasserstoff |
| i. E. | im Erscheinen |
| ISO | International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung) |
| kg | Kilogramm (Maßeinheit) |
| km | Kilometer (Maßeinheit) |
| L-H₂ | Liquid hydrogen (Flüssigwasserstoff) |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| MW | Megawatt (Maßeinheit) |
| Nfz | Nutzfahrzeug |

| | |
|---------------|--|
| NIP | Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (Bundesregierung – Phase II: 2016–2026) |
| NOW | Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH |
| NPM | Nationale Plattform Zukunft der Mobilität |
| NSR | Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (Bundesregierung 2016) |
| OEM | Original Equipment Manufacturer (Fahrzeughersteller) |
| o. J. | ohne Jahr |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| Pkw | Personenkraftwagen |
| PPA | Power Purchase Agreement |
| PRHYDE | Protocol for Heavy-duty Hydrogen Refuelling |
| PtG | Power-to-Gas |
| PtX | Power-to-X |
| PV | Photovoltaik |
| RED II | Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) (EU 2018/2001) |
| t | Tonne (Maßeinheit) |
| VDV | Verband Deutscher Verkehrsunternehmen e. V. |

QUELLEN

BDEW (o. J.): Interaktive Karte „Gas kann grün“. URL: <https://www.bdew.de/energie/erdgas/interaktive-karte-gas-kann-gruen/> (Stand: Juni 2021)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20 (Stand: Juni 2021)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2016): Nationaler Strategierahmen über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe. Als Teil der Umsetzung der Richtlinie 2014/94/EU. URL: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/MKS/mks-nationaler-strategierahmen-afid.pdf?__blob=publicationFile (Stand: Juni 2021)

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020): Förderrichtlinie für Maßnahmen der Marktaktivierung im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP) Phase 2 (Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität) als Teil des Regierungsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie 2016 bis 2026 – von der Marktvorbereitung zu wettbewerbsfähigen Produkten. URL: <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/foerderrichtlinie-marktaktivierung-20200709.pdf> (Stand: Juni 2021)

Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. URL: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f-09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>. (Stand: Juni 2021)

Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Ergebnisbericht und Handlungsempfehlungen. URL: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9262_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_Ergebnisbericht.pdf (Stand: Juni 2019)

Europäisches Parlament/Europäischer Rat (2014): Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure Text with EEA relevance. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32014L0094> (Stand: Juni 2021)

FCH 2 JU (2020): Fuel Cell Hydrogen Trucks. Heavy-Duty's High Performance Green Solution. Study Summary. URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/201211%20FCH%20HDT%20-%20Study%20Summary_final_vs.pdf (Stand: Juni 2021)

Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft GmbH (FfE) (2019): Studie zur Regionalisierung von PtG-Leistungen für den Szenariorahmen NEP Gas 2020–2030. URL: <https://www.ffegmbh.de/attachments/article/870/Studie%20zur%20Regionalisierung%20von%20PtG%20Leistungen.pdf> (Stand: Juni 2021)

Forschungszentrum Jülich (2018): Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles. URL: https://user.fz-juelich.de/record/842477/files/Energie_Umwelt_408_NEU.pdf (Stand: Juni 2021)

H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG (o. J.): Netzausbau live. Der aktuelle Stand für Deutschland. URL: <https://h2.live/> (Stand: 06.05.2021)

Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Der Fahrzeugbestand am 1. Januar 2021. URL: https://www.kba.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/pm_08_2021_bestand_01_21.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Stand: Juni 2021)

Ludwig-Bölkow-Stiftung (2019): Infrastrukturbedarf E-Mobilität. Analyse eines koordinierten Infrastrukturaufbaus zur Versorgung von Batterie- und Brennstoffzellen-Pkw in Deutschland. URL: https://stiftung.adac.de/app/uploads/2019/06/IBeMo_Abschlussbericht_final_190625_LBST_Zerhusen.pdf (Stand: Juni 2021)

NPM (2019a): Roadmap PtX. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-5-Roadmap-PtX.pdf> (Stand: Juni 2021)

NPM (2019b): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-1-Wege-zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf> (Stand: Juni 2021)

NPM (2020a): Werkstattbericht Alternative Kraftstoffe – Klimawirkungen und Wege zum Einsatz alternativer Kraftstoffe. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_AK.pdf (Stand: Juni 2021)

NPM (2020b): Werkstattbericht Antriebswechsel Nutzfahrzeuge – Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_Nutzfahrzeuge.pdf (Stand: Juni 2021)

NPM (2021a): Roadmap „Markthochläufe Alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive“. URL: https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG2_Technologie_Roadmap.pdf (Stand: Juni 2021)

NPM (i. E.): Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe.

Wang, A., van der Leun, K., Peters, D., Buseman, M. (2020): European Hydrogen Backbone. How A Dedicated Hydrogen Infrastructure Can Be Created. URL: https://gasforclimate2050.eu/?smd_process_download=1&download_id=471 (Stand: Juni 2021)

Wasserstoffrat (2020): Umsetzung RED II in nationales Recht (Änderung BImSchG/BImSchV). Stellungnahme. URL: https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/NWR_Stellungnahme_Umsetzung_RED_II_inkl_Anlage.pdf (Stand: Juni 2021)

IMPRESSUM

VERFASSER

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität,
Arbeitsgruppe 5 „Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung“,

Juni 2021

HERAUSGEBER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

REDAKTIONELLE UNTERSTÜTZUNG

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
ifok GmbH

SATZ UND GESTALTUNG

ifok GmbH

LEKTORAT

Nikola Klein – e-squid text konzept lektorat

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur federführend koordiniert. Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral.



