

Die Entwicklung von Wasserstofftankstellen in den letzten drei Jahren – mit Blick auf Größe und Wasserstoffpreis

Für den Verkehrssektor, einen der Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen, haben sich Europa und Deutschland ehrgeizige CO₂-Minderungsziele gesetzt. Mit der Förderung der Elektromobilität ist es möglich, die Verkehrsinfrastruktur nachhaltiger zu gestalten, die Klimaziele zu erreichen und eine Vorreiterrolle im weltweiten Klimaschutz einzunehmen. Bei der Elektromobilität gewinnen neben rein elektrischen Antrieben auch brennstoffzellenbetriebene Wasserstofffahrzeuge an Bedeutung. Diese Fahrzeuge benötigen ein entsprechendes Wasserstofftankstellennetz.

Dieser Artikel ist eine Aktualisierung eines früheren Beitrags („Wasserstoff im Tankstellen- und Nutzfahrzeugbereich: Anwendungen und Sicherheitsaspekte“, erschienen im Jahrbuch „Wasserstoff in der Praxis – Band 1: Infrastruktur“, 2021) und reflektiert die neuesten Entwicklungen und Fortschritte im Bereich des Infrastrukturaufbaus für wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge. Seit der Veröffentlichung des ursprünglichen Artikels hat sich sowohl die politische als auch die technologische Landschaft weiterentwickelt. Die vorliegende Fassung bietet daher eine aktualisierte Analyse der Situation und beleuchtet sowohl die Herausforderungen als auch die neuesten Trends.

Fortschritte und Veränderungen im Bereich Wasserstofftankstellen

Die EU-Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Wasserstofftankstellen in Europa. Diese Verordnung setzt verbindliche Ziele für den Ausbau der Infrastruktur, um die Nutzung von Wasserstoff als saubere Energiequelle im Verkehr voranzutreiben. Im Rahmen der AFIR wird der Aufbau eines flächendeckenden Netzes von Wasserstofftankstellen durch die einzelnen EU-Länder gefördert, um die Akzeptanz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen zu erhöhen und einen Beitrag zur Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu leisten.

In den letzten drei Jahren ist die Zahl der Wasserstofftankstellen in Europa deutlich gestiegen und liegt derzeit bei rund 250 Anlagen. Mit zahlreichen weiteren in Planung befindlichen Tankstellen wird sich dieses Netz in naher Zukunft nahezu verdoppeln und damit eine wichtige Grundlage für die Entwicklung der Wasserstoffmobilität schaffen (Quelle: Hydrogen Europe, 2024). Vorreiter in Europa sind neben Deutschland, wo derzeit ca. 85 Anlagen in Betrieb und weitere ca. 25 in Planung sind, Frankreich, die Schweiz und die Benelux-Staaten. (Quelle: H₂.live, 2024).

In den letzten Jahren hat sich allerdings die Ausrichtung der Wasserstofftankstellen in Deutschland und Europa deutlich verändert. Standen anfangs vor allem kleinere Tankstellen für Pkw im Vordergrund, die Wasserstoff in höheren Druckstufen und in geringen Mengen zur Verfügung stellten, so liegt der Schwerpunkt heute auf dem Ausbau größerer Anlagen, die vor allem für Busse und schwere Nutzfahrzeuge ausgelegt sind. Damit soll das Potenzial von Wasserstoff gerade in dem Fahrzeugsegment genutzt werden, in dem die höchsten Energieverbräuche anfallen.

Technologische Entwicklungen

Bei Bussen und schweren Nutzfahrzeugen kommt überwiegend ein Druckniveau von 350 bar zum Einsatz, das speziell auf den Bedarf größerer Wasserstoffmengen und längerer Reichweiten abgestimmt ist. Typische Tankkapazitäten liegen hier im Bereich von 30 bis 50 kg H₂ pro Fahrzeug. Im Vergleich zu Pkw, die in der Regel mit 700 bar betankt werden (Tankkapazität pro Fahrzeug: 4 bis 6 kg H₂), ermöglicht der niedrigere Druck in Nutzfahrzeugen eine energiesparendere Speicherung des Wasserstoffs in den Tanks und reduziert die Kosten der Systemkomponenten.

Große Tanksysteme mit einem Druckniveau von 700 bar für LKW befinden sich derzeit in der Entwicklung, allerdings wird es noch einige Jahre dauern, bis diese Fahrzeuge in großen Stückzahlen verfügbar sind. Auch ein Druckniveau von 500 bar für Wasserstofftankstellen wird derzeit diskutiert und teilweise bereits erprobt. Die endgültige Umsetzung ist noch abzuwarten und hängt von der weiteren Forschung, den Kosten und den regulatorischen Anforderungen ab.

Die derzeit in Deutschland und Europa geplanten neuen Tankstellen für Busse und schwere Nutzfahrzeuge sind in der Lage, mehr als 100 Betankungen pro Tag durchzuführen (>2 t H₂ pro Tag). Durch eine entsprechende Versorgung und redundante Auslegung ist die Anzahl der Back-to-Betankungen (Betankung mehrerer Fahrzeuge hintereinander ohne nennenswerte Verzögerung) bei den neuesten Tankstellen praktisch nicht mehr begrenzt. Dies war bei älteren Anlagen der Fall, die nach einer bestimmten Anzahl von Fahrzeugen eine Regenerationszeit für die Verdichtungsarbeit benötigten.

Das Bild stellt die typischen Komponenten einer Wasserstofftankstelle dar. Diese umfassen die H₂-Versorgung, die Kompressoreinheit, die Speicher und die Dispenser. Je nach Performance der Anlage kann eine zusätzliche Kühleinheit für die Kühlung des Wasserstoffes notwendig sein, die dann vor den Dispenser (dt. Zapfsäule) intergriert wird.

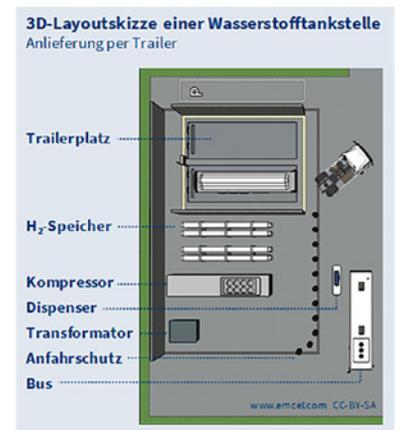
Auch die Herkunft des Wasserstoffs (oft auch als „Farbe“ bezeichnet) an Wasserstofftankstellen hat sich mit den neuen Tankstellen geändert. Während die ersten Stationen meist mit grauem Wasserstoff (hergestellt durch Dampfreformierung aus Erdgas) versorgt wurden, sind heute zunehmend Anlagen mit grünem Wasserstoff (Wasserstoff aus Elektrolyse und regenerativen Quellen) zu finden bzw. geplant. Diese Entwicklung spiegelt die zunehmenden politischen Bestrebungen zur Dekarbonisierung des Verkehrs mit der Forderung nach einem lokal emissionsfreien und global emissionsarmen bzw. CO₂-neutralen Betrieb der Fahrzeuge wider. Förderprogramme und staatliche Vorgaben haben dazu beigetragen, dass beim Bau neuer Wasserstofftankstellen zunehmend auf nachhaltige Technologien gesetzt wird. Insbesondere in Deutschland unterstützen diese Programme den Umstieg auf umweltfreundlichere Lösungen und tragen dazu bei, die Infrastruktur für „100% grünen Wasserstoff“ nach den Kriterien der RED II (Renewable Energy Directive II) der Europäischen Union weiter auszubauen.

Preisentwicklung und zukünftige Perspektiven für Wasserstoff

Der Wasserstoffpreis ist in Bewegung und wird von vielen Faktoren beeinflusst. Wie auf dem gesamten Energiemarkt sind Preissteigerungen, -senkungen und Schwankungen zu beobachten, die insbesondere durch externe Ereignisse wie geopolitische Spannungen oder Marktspekulationen hervorgerufen werden. Trotz dieser Herausforderungen gibt es jedoch positive Aussichten für die Preisentwicklung. Größere Wasserstofftankstellen ermöglichen Kosteneinsparungen gegenüber kleinen Anlagen durch höhere Abnahmemengen bei gleichzeitig effizienteren und optimierten Prozessen. Die Schaffung stabiler Abnahmebedingungen, insbesondere durch z.B. LOIs und Vereinbarungen mit Flottenbetreibern wie Verkehrsunternehmen im ÖPNV, ist für Tankstellenbetreiber eine vielversprechende Perspektive. Diese Flotten können sichere und langfristige Abnahmeverträge etablieren, was zur Stabilisierung der Preise beiträgt. Gleichzeitig wird die Planungssicherheit bei Großprojekten erhöht und damit das finanzielle Risiko reduziert. Weiterhin bietet der Einsatz von grünem Wasserstoff zusätzliches Potenzial zur Kostenreduktion durch Erlöse aus dem Verkauf von Treibhausgasminderungsquote gemäß der RED II-Richtlinie. Diese Quoten können zusätzliche Einsparungen von mehreren Euro pro Kilogramm Wasserstoff ermöglichen und somit den Preis weiter senken.

An den meisten öffentlichen Tankstellen liegt der Wasserstoffpreis an der Zapfsäule derzeit zwischen ca. 13 und 20 €/kg. Diese Tankstellen sind überwiegend für die Betankung von Pkw ausgelegt und weisen eine sehr geringe Auslastung auf. Der Durchschnittspreis an Tankstellen für die Betankung von Bussen und LKW (350 bar) liegt heute in Deutschland niedriger im Bereich von ca. 10 bis 15 €/kg. Mit der neuen Generation von Nutzfahrzeuggastankstellen können unter günstigen Bedingungen Preise von bis zu 7 bis 8 €/kg erreicht

3D-Layoutszeichnung einer Wasserstofftankstelle



werden, was eine Preisparität zur Dieselschicht darstellt und damit einen wirtschaftlichen Betrieb dieser alternativen Antriebsart ermöglicht. Diese Vergleichsberechnung berücksichtigt sowohl einen Dieselpreis von ca. 1,60 €/Liter als auch einen typischen, durchschnittlichen Verbrauch von Diesel- und Brennstoffzellen-Nutzfahrzeugen (ca. 40 Liter pro 100 km für Diesel, ca. 8 kg H₂ für die gleiche Strecke für die Brennstoffzelle, am Beispiel eines 12 m langen Omnibusses).

Mit dem Ausbau der Produktion von grünem Wasserstoff in Europa und weltweit sind perspektivisch noch niedrigere Preise möglich. Große Elektrolyseprojekte im dreistelligen Megawattbereich sind international in Planung und versprechen, Wasserstoff in noch größeren Mengen und zu reduzierten Kosten zu erzeugen. Das Potenzial dieser Entwicklung ist bereits in den ersten Ausschreibungen von H₂-Global zu sehen: bei der ersten Ausschreibungsrunde für grüne Wasserstoffprodukte lag der Produktionspreis für grüne Ammoniak bei 811 €/t, woraus ein Preis von weniger als 4,50 €/kg für den grünen Wasserstoff abgeleitet werden kann (Quelle: BMWK¹, 2024).

Es ist zu erwarten, dass steigende Produktionskapazitäten und technologische Fortschritte die Wettbewerbsfähigkeit von Wasserstoff im Energiemarkt und im Verkehrssektor weiter erhöhen werden, so dass eine wirtschaftliche Nutzung von Wasserstoff als nachhaltigem Kraftstoff möglich wird.

Autoren

Marcel Corneille
Geschäftsführer
marcel.corneille@emcel.com

Nicolò Queirazza
E-Mobilität und NFZ-Flotten
nicolo.queirazza@emcel.com

Fabian Reiff
H₂-Infrastruktur
fabian.reiff@emcel.com

¹ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/07/20240711-h2global.html>, Zugriff am 13.08.2024