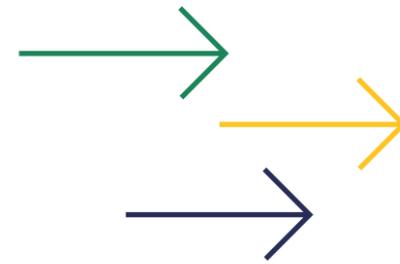
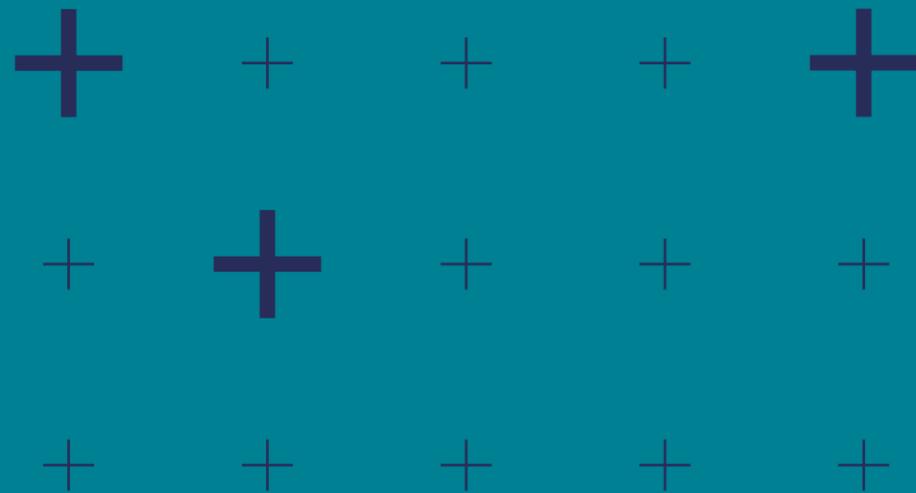


**MARKTENTWICKLUNG
KLIMAFREUNDLICHER
TECHNOLOGIEN IM
SCHWEREN STRASSEN-
GÜTERVERKEHR**



Auswertung der
Cleanroom-Gespräche mit
Nutzfahrzeugherstellern 2024

Inhalt



Zusammenfassung	4
Einleitung	8
¹ Unternehmerische Strategien für den Markthochlauf klimafreundlicher Lkw	10
² Anforderungen der Hersteller an politische und regulatorische Rahmenbedingungen	18
³ Herausforderungen der verschiedenen technologischen Pfade	24
Batterie und Ladeinfrastruktur	24
Wasserstoffantriebe und Wasserstoffbetankungsinfrastruktur	33
⁴ Ausblick	38

now-gmbh.de



Zusammenfassung

Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat sich im Kontext des im November 2020 veröffentlichten „Gesamtkonzeptes klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ den Aufbau der Tank- und Ladeinfrastruktur für klimafreundliche Nutzfahrzeuge zu einer seiner zentralen Aufgaben gemacht. Der Ausbau soll bedarfsgerecht und mit dem Markthochlauf der Fahrzeuge zeitlich abgestimmt erfolgen.

Mit dem Ziel, den Markthochlauf der klimafreundlichen Nutzfahrzeuge und damit die Bedarfe besser abschätzen zu können, haben Vertreterinnen und Vertreter des BMDV, der NOW GmbH sowie einer mit der Einhaltung des Kartellrechts beauftragten Kanzlei von April bis Mai 2024 mit den wichtigsten europäischen Nutzfahrzeugherstellern kartellrechtskonforme vertrauliche Gespräche (sog. Cleanroom-Gespräche) geführt. Die Informationen zu den geplanten Absatzzahlen der Hersteller in den kommenden Jahren und den dahinterliegenden strategischen Ausrichtungen wurden genutzt, um die Erkenntnisse der Cleanroom-Gespräche 2022 zu aktualisieren. Die an den neuerlichen Cleanroom-Gesprächen beteiligten Hersteller repräsentieren über 95 Prozent des Marktes für schwere Nutzfahrzeuge der EG-Fahrzeugklasse N3 (> 12 t) in Deutschland. Die vorliegende Auswertung fasst die Ergebnisse zusammen.

Die Transformation des Straßengüterverkehrs hin zu klimafreundlichen Antrieben könnte dynamischer verlaufen, als es bislang von vielen wahrgenommen wurde. Dieses zentrale Ergebnis der letzten Cleanroom-Gespräche von 2022 wird durch die aktuellen, von den Herstellern prognostizierten Absatzzahlen bestätigt. Rund drei Viertel der Neuzulassungen bei den schweren Nutzfahrzeugen (N3/> 12 t) in Deutschland werden im Jahr 2030 emissionsfrei oder emissionsarm sein. Und die Dynamik wird sich bis zum Jahr 2033 noch weiter steigern.

Der Batterie-Lkw bleibt die dominierende Technologie bei emissionsfreien schweren Nutzfahrzeugen. Mit einem prognostizierten Marktanteil bei den Neuzulassungen im Jahr 2030 von 48 Prozent in Deutschland und von 37 Prozent in Europa sollen hauptsächlich batterieelektrisch angetriebene Lkw die Hauptlast bei den Herstellern zur Erfüllung der ambitionierten europäischen CO₂-Flottenzielwerte im Jahr 2030 tragen. Die Technologie- und Serienreife der Antriebsoption, darin sind sich die Hersteller einig, sei heute schon für den Einsatz schwerer Nutzfahrzeuge im Regional- und inzwischen auch im Fernverkehr gegeben. Neben der technischen Reife und Robustheit der Batterietechnologie macht dies auch die fast abgeschlossene Standardisierung des Megawatt-Ladesystems (im Englischen „Megawatt Charging System“, MCS) möglich.

Im Vergleich zu den Cleanroom-Gesprächen 2022 haben sich die Antriebsstrategien der Nutzfahrzeughersteller ausdifferenziert. Batterie und Brennstoffzelle stehen zwar weiterhin im Mittelpunkt der Strategien, werden aber um Wasserstoffverbrenner sowie im Einzelfall Plug-in-Hybridantriebe erweitert. Bei einzelnen Herstellern wird das Antriebsportfolio noch durch alternative, emissionsarme Kraftstoffe (Bio-CNG/-LNG) ergänzt.

Ein wesentlicher Grund für die Erweiterung der Antriebsstrategien ist die von der Europäischen Union im Frühjahr 2024 beschlossene Verschärfung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge. Alle Nutzfahrzeughersteller kommen in den Gesprächen zu der Einschätzung, dass das Erreichen der ambitionierten Reduktionsziele für das Jahr 2030 eine erhebliche Herausforderung darstelle. Es brauche deswegen unterschiedliche Optionen, um die CO₂-Vorgaben der EU zu erfüllen. Auch die bestehende Unsicherheit über die Geschwindigkeit des Infrastrukturaufbaus trägt dazu bei, dass Hersteller sich mehrere Optionen offenhalten.



Der Einsatz von Wasserstoff im bekannten und für den neuen Kraftstoff zu optimierenden Verbrennungsmotor ist die auffälligste Erweiterung des Antriebsportfolios mehrerer Hersteller im Vergleich zu 2022. Insgesamt liegt danach der Anteil der mit Wasserstoff angetriebenen Fahrzeuge mit Brennstoffzelle und Verbrennungsmotor im Jahr 2030 bei knapp 20 Prozent und damit leicht höher. Der gegenüber 2022 leichte Rückgang bei den Brennstoffzellen-Lkw in den aktuellen Prognosen wird dabei durch den Zuwachs bei Wasserstoffverbrennern, die 2022 noch keine nennenswerte Rolle spielten, überkompensiert. Begründet wird dies mit zwei Entwicklungen: Zum einen ist der Wasserstoffverbrenner bei der aktuellen Novellierung der EU-CO₂-Flottenzielwerte unter bestimmten Bedingungen als emissionsfreier Antrieb anerkannt worden. Zum anderen verzögert sich die Technologie- und Marktreife der Brennstoffzelle für den Einsatz im Lkw bis zum Ende dieses Jahrzehnts. Wie die Prognosen zeigen, werden Wasserstoff-Lkw erst Ende dieses Jahrzehnts in größeren Stückzahlen auf den Markt kommen. Dabei kommt der Wasserstoffverbrenner etwas früher auf den Markt als der Brennstoffzellen-Lkw.

Fast alle Hersteller haben im Vergleich zu 2022 ihr Antriebsportfolio um den Wasserstoffverbrenner erweitert. Der Unterschied zwischen den Herstellern zeigt sich bei den diesjährigen Gesprächen in der strategischen Bedeutung, die dem Thema Wasserstoff insgesamt zugemessen wird. Der eine Teil der Hersteller sieht im Einsatz von Wasserstoff eine notwendige Option, um alle Einsatzzwecke und Nutzungsszenarien im Straßengüterverkehr dekarbonisieren zu können. Wasserstoffantriebe seien besonders für den Schwerlast- und Langstreckenverkehr die geeigneteren Antriebslösungen. Der andere Teil der Hersteller sieht Wasserstoff nur als Nischenanwendung. Die Wasserstoffantriebe werden als komplementäre Lösung zum Batterie-Lkw gesehen, um sehr spezifische Betriebsfälle abzudecken oder Anwendungskontexte, in denen kostengünstiger Wasserstoff verfügbar sei. Neben den Nachteilen der Wasserstoffantriebe bei den Betriebskosten wird von diesen Herstellern die nicht ausreichende Verfügbarkeit von für den Straßengüterverkehr bezahlbarem grünem Wasserstoff in einem absehbaren und notwendigen Zeitraum als besonders kritisch gesehen.

Einigkeit besteht bei den Herstellern, dass es für den Antriebswechsel im Straßengüterverkehr für alle beteiligten Akteure (wie Fahrzeughersteller, Energie- und Kraftstofflieferanten, Infrastrukturbetreiber und Fahrzeugnutzer) klare, zuverlässige und planbare Rahmenbedingungen brauche. Dies betreffe nicht nur die regulatorischen Rahmenbedingungen, sondern auch die Klarheit darüber, wann die aufzubauende Tank- und Ladeinfrastruktur zeitlich und räumlich verfügbar sei. Langfristige Planungssicherheit brauche es insbesondere auch für die Anwenderinnen und Anwender. Denn sie müssten in die Lage versetzt werden, die Investitionsentscheidung zugunsten der Anschaffung klimafreundlicher Nutzfahrzeuge treffen zu können.

Mit Blick auf das Erreichen der vorgegebenen Klimaschutzziele im Straßengüterverkehr hat für die Hersteller der zügige Ausbau der öffentlichen Infrastruktur, insbesondere der Lkw-Ladeinfrastruktur, weiterhin höchste Priorität. Er sei die wichtigste Rahmenbedingung für den Erfolg des Markthochlaufs. Der Engpass läge in den nächsten Jahren nicht bei der Fahrzeug-, sondern bei der Infrastrukturverfügbarkeit. Angesichts der Kürze des Zeitraums bis 2030 solle der Staat jetzt massiv in Tank- und Ladeinfrastruktur investieren und somit die Rahmenbedingungen für die Transformation des Straßengüterverkehrs schaffen.

+ Einleitung



Die letzten Cleanroom-Gespräche fanden 2022 statt.¹ Seitdem ist der Markthochlauf von klimafreundlichen Nutzfahrzeugen bzw. dessen Prognose deutlich konkreter geworden. Dazu tragen das sich ausweitende Fahrzeugangebot, der beginnende Infrastrukturaufbau sowie die ersten Erfahrungen von Anwenderinnen und Anwendern mit klimafreundlichen Nutzfahrzeugen bei. Wichtige Impulse für den beginnenden Markthochlauf gehen auch von neuen regulatorischen Rahmenbedingungen aus. Zu nennen sind hier insbesondere die Einführung einer CO₂-Komponente bei der Lkw-Maut, die Vorgaben der europäischen Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) sowie die Verschärfung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklungen haben Vertreterinnen und Vertreter des BMDV, der NOW GmbH sowie einer mit der Einhaltung des Kartellrechts beauftragten Kanzlei von April bis Mai 2024 erneut mit den wichtigsten europäischen Nutzfahrzeugherstellern Cleanroom-Gespräche

geführt. Die an den Gesprächen beteiligten Hersteller repräsentierten zum Zeitpunkt der Gespräche erneut über 95 Prozent des Marktes für schwere Nutzfahrzeuge der EG-Fahrzeugklasse N3 (> 12 t) in Deutschland bzw. sogar 99 Prozent in Europa.

Die Zielsetzung der Cleanroom-Gespräche bleibt gleich: Es geht darum, Informationen zu den geplanten Absatzzahlen der Hersteller in den kommenden Jahren und den dahinterliegenden strategischen Ausrichtungen zu erhalten. Die Ergebnisse dienen in erster Linie dazu, den bedarfsgerechten und mit dem Hochlauf der Fahrzeuge zeitlich abgestimmten Aufbau von

Tank- und Ladeinfrastruktur zu steuern. Denn der koordinierte und abgestimmte Infrastrukturaufbau ist eine der zentralen Aufgaben, die sich das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Kontext des im November 2020 veröffentlichten „Gesamtkonzeptes klimafreundliche Nutzfahrzeuge“ gegeben hat. Im Jahr 2030, so die ambitionierten Klimaschutzziele der Bundesregierung für den Straßengüterverkehr, soll ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch erbracht werden.

Auch in den diesjährigen Cleanroom-Gesprächen haben die Hersteller Daten zu den von ihnen in den nächsten Jahren geplanten Absatzzahlen von schweren Lkw (> 12 t) sowie zu den künftigen technischen Eigenschaften der Fahrzeuge (bspw. elektrische Reichweiten) zur Verfügung gestellt.

Neben der Datenlieferung sind mit den Herstellern jeweils Einzelgespräche geführt worden. Im Rahmen eines strukturierten Interviews wurden die strategische Bewertung von Technologieoptionen, eine Einschätzung zu den regulatorischen Rahmenbedingungen und technischen Entwicklungen sowie der Infrastrukturbedarf abgefragt. Die von der Kanzlei anonymisierten und aggregierten quantitativen Daten sowie die in den Gesprächen gewonnenen qualitativen Aussagen, die ebenfalls anonymisiert wurden, wurden vom BMDV und von der NOW GmbH ausgewertet.

Die vorliegende Auswertung fasst die Ergebnisse der Cleanroom-Gespräche 2024 zusammen. Die Ergebnisse der Auswertung der quantitativen Daten werden überwiegend in Grafiken dargestellt. Die Auswertung der qualitativen Aussagen der Gespräche erfolgt zusammengefasst im Text.

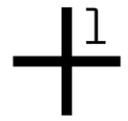
Neben den Erkenntnissen für den Aufbau der Infrastrukturen stellen sie auch Informationen bereit, die als Grundlage der Entscheidungen anderer für den Markthochlauf zentraler Akteure und Stakeholder dienen können. Dies sind u. a. neben Infrastrukturbereitstellern bzw. -betreibern Akteure aus der Energiewirtschaft und Anwender wie Transport-, Speditions- und Logistikunternehmen.

Dem Bund dienen die Ergebnisse der Gespräche als Grundlage für verkehrspolitische Entscheidungen, um den vorausschauenden und bedarfsgerechten Aufbau von Lade- und Tankinfrastruktur insbesondere zur Erfüllung von Verpflichtungen zur Mindestversorgung sicherstellen zu können. So hat das BMDV im Juli 2024 in einem ersten Schritt die Ausschreibung für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Schnellladeinfrastruktur für batteriebetriebene Lkw und Busse auf rund 130 unbewirtschafteten Rastanlagen auf den Weg gebracht. Die dafür notwendigen Netzanschlüsse, die durch den Bund gestellt werden, schaffen Planungssicherheit für das Industrie- und Transportgewerbe. Die Gespräche liefern zudem hilfreiche Informationen, die es dem BMDV ermöglichen, Fördermittel für den Aufbau von Infrastrukturen effizient einzusetzen. Die Aktivitäten des Bundes sind allerdings nicht Teil dieses Berichtes.

Sämtliche in dieser Auswertung enthaltenen Angaben und Aussagen basieren auf den Informationen aus den Cleanroom-Gesprächen. Aus kartellrechtlichen Gründen wurden die Angaben anonymisiert und aggregiert. Der Bericht enthält keine Wertungen oder Einschätzungen des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. Das BMDV macht sich die Aussagen der Hersteller nicht zu eigen.

Die Aussagen der Hersteller spiegeln den Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Gespräche im April und Mai 2024 wider und berücksichtigen daher keine verkehrspolitischen Ereignisse, die seitdem eingetreten sind.

[1] Vgl. den Ergebnisbericht der Cleanroom-Gespräche 2022: <https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2023/03/Marktentwicklung-klimafreundlicher-Techn.-im-schweren-Strassengueterverkehr-BARRIEREFREI.pdf>



Unternehmerische Strategien für den Markthochlauf klimafreundlicher Lkw

Die Strategien der Hersteller haben sich ausdifferenziert. Batterie-Lkw bleibt dominanter Technologiepfad.

Im Frühjahr 2024 haben das Europäische Parlament und der Europäische Rat die Novelle der europäischen CO₂-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge verabschiedet. Die bestehenden Standards sahen eine Reduktion der durchschnittlichen spezifischen CO₂-Emissionen pro Kilometer um 15 Prozent für das Jahr 2025 und um 30 Prozent für das Jahr 2030 im Vergleich zum Berichtszeitraum 2019 vor. Im Rahmen der Novellierung wurde das Reduktionsziel für 2025 beibehalten und die Vorgaben für 2030 auf 43 Prozent deutlich angehoben. Zudem werden mit einer Reduktion um 64 Prozent für das Jahr 2035 und um 90 Prozent für das Jahr 2040 neue Zielwerte für die Folgejahre vorgegeben. Die EU weitet mit den neuen Vorgaben zudem den Anwendungsbereich der Flottenzielwerte unter anderem auf weitere Lkw-Typen sowie auf Anhänger und Sattelaufleger aus.



Das Erreichen dieser Vorgaben – darin sind sich die Nutzfahrzeughersteller einig – stelle eine große Herausforderung für die Industrie dar. Dies gelte insbesondere für Reduktionsziele bis zum Jahr 2030. Der Druck wird durch das enge Zeitfenster und die Unsicherheit über die Geschwindigkeit des Infrastrukturaufbaus noch erhöht. Zudem fragen sich die Hersteller, ob sich genügend Kundinnen und Kunden für die Fahrzeuge mit klimafreundlichen Antrieben in der margenschwachen Logistikbranche finden. Denn das Nichterreichen der Vorgaben ist mit hohen Strafzahlungen verbunden.

Bei den letzten Cleanroom-Gesprächen 2022 zeigten die Antriebsstrategien der Nutzfahrzeughersteller noch eine klare Fokussierung auf Batterie und Brennstoffzelle. Andere alternative Antriebe spielten nur eine marginale Rolle. Die klare Fokussierung auf den Batterie-Lkw („Ein-Säulen-Strategie“) der einen Gruppe von Herstellern bzw. auf Batterie- und Brennstoffzellen-Lkw („Zwei-Säulen-Strategie“) einer zweiten Gruppe von Herstellern hat sich inzwischen ausdifferenziert. Dies zeigt der Blick auf die aktuell prognostizierten Absatzzahlen der Hersteller (vgl. Abbildung 1). Der Grund für die Ausdifferenzierung der Antriebsstrategien ist die deutliche Verschärfung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge. Batterie- und der Brennstoffzellen-Lkw stehen zwar weiterhin im Mittelpunkt der Strategien, werden aber durch Wasserstoffverbrenner und zum Teil auch durch Plug-in-Hybridantriebe erweitert. Bei einzelnen Herstellern wird das Antriebsportfolio zudem durch Bio-LNG als weitere Säule ergänzt.

VOR DEM HINTERGRUND DER VERSCHÄRFTEN EUROPÄISCHEN CO₂-FLOTTENZIELWERTE HABEN SICH DIE STRATEGIEN DER HERSTELLER AUSDIFFERENZIIERT.

Mit der Erweiterung des Antriebsportfolios wollen sich die meisten Hersteller angesichts bestehender Unsicherheiten mehrere Optionen zur Erreichung der CO₂-Vorgaben offenhalten. Einzelne Hersteller weisen darauf hin, dass sie mehrere Antriebe für das Erreichen der Reduktionsvorgaben brauchen.

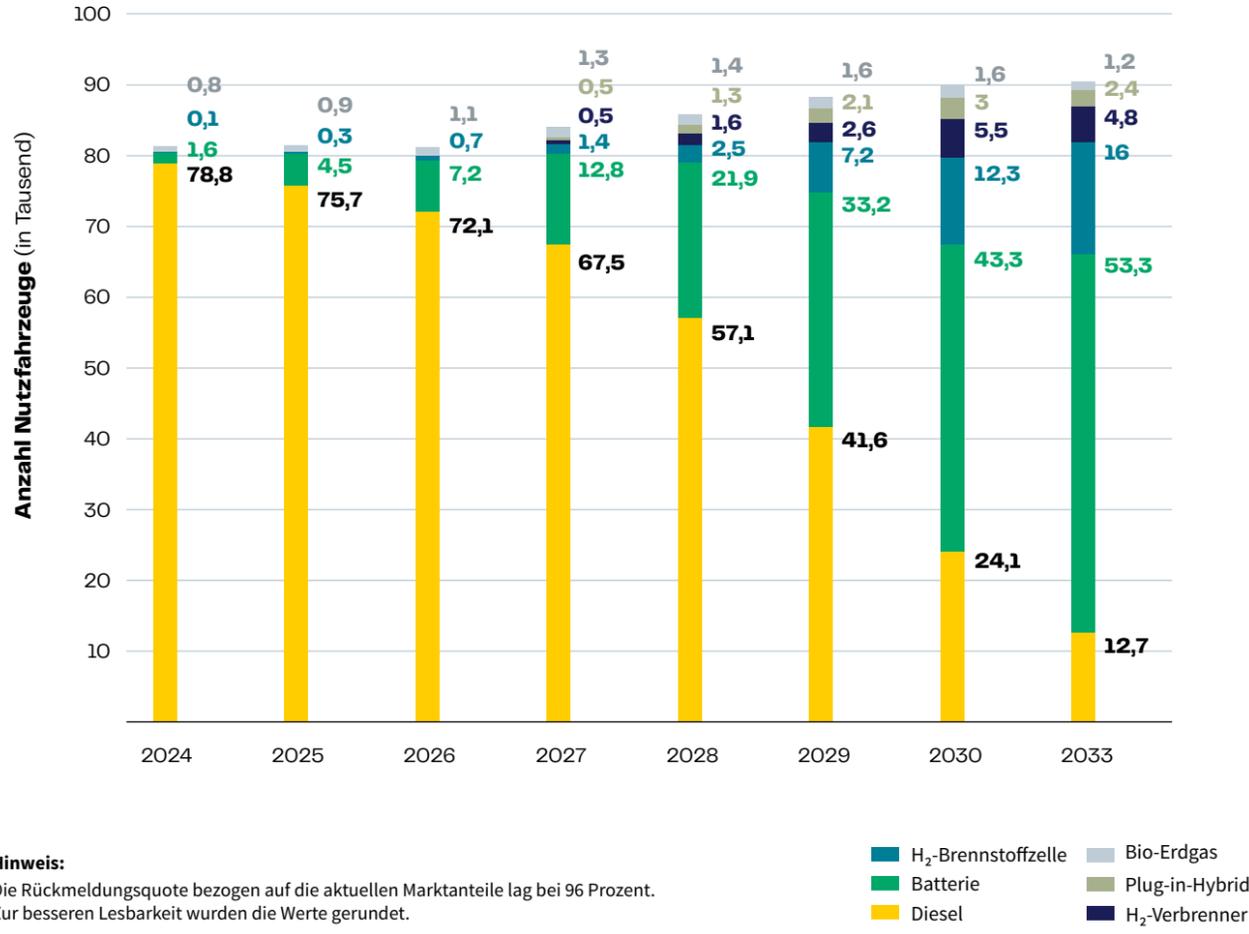
Im Gegensatz zu 2022 zeichnen die prognostizierten Absatzzahlen der Hersteller diesmal insbesondere beim Marktwachstum ein deutlich genaueres Bild. Mit Blick auf die existierenden Bestandszahlen und die relative Sättigung des deutschen und europäischen Marktes spiegeln die prognostizierten und aufsummierten Absatzzahlen diesmal die Marktentwicklung realistischer wider als die, laut den Herstellern, zu optimistischen Angaben von 2022.



Abbildung 1

Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/> 12 t)

In Deutschland laut Herstellerangaben



DIE VORHANDENE TECHNOLOGIE- UND SERIENREIFE MACHT DEN BATTERIE-LKW ZUM DOMINIERENDEN TECHNOLOGIEPFAD BEI DER DEKARBONISIERUNG DES STRASSENGÜTERVERKEHRS.

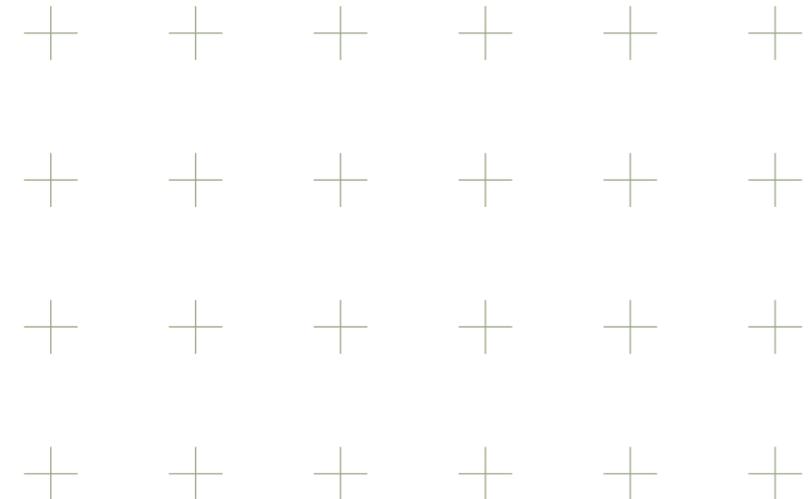
Die aktuellen Cleanroom-Gespräche bestätigen die Ergebnisse aus dem Jahr 2022: Die CO₂-Vorgaben der EU für das Jahr 2030 machen den batterieelektrischen Antrieb unentbehrlich. Der batterieelektrische Lkw wird über das Jahr 2030 hinaus die vorherrschende Option bei der Transformation des Straßengüterverkehrs sein. Mit einem Anteil von 48 Prozent (Deutschland) bzw. fast 37 Prozent (Europa) an den neu verkauften schweren Lkw im Jahr 2030 tragen batterieelektrisch angetriebene Lkw die Hauptlast für das Erreichen der ambitionierten europäischen CO₂-Flottenzielwerte im selben Jahr. Hauptgrund für diesen strategischen Schwerpunkt sei laut Herstellern die vorhandene Technologie- und Serienreife des batterieelektrischen Lkw. Dies gelte nicht nur für den Einsatz der Lkw im Re-

gional- und Verteilerverkehr, sondern explizit auch für den Fernverkehr. Neben der technischen Reife und Robustheit der Batterietechnologie macht dies auch die fast abgeschlossene Standardisierung des Megawatt-Ladesystems (im Englischen „Megawatt Charging System“, MCS) möglich. Ab 2025 werden zunehmend MCS-fähige Lkw verfügbar sein. Ab wann der Batterie-Lkw tatsächlich im Fernverkehr eingesetzt werden könne, so die Hersteller, hänge vom Tempo des Ladeinfrastrukturaufbaus ab. Das Ende des Förderprogramms KsNI und Unsicherheiten über die Geschwindigkeit des Ladeinfrastrukturaufbaus führen bei den Batterie-Lkw bis 2030 zu Marktanteilen, die gegenüber den Cleanroom-Gesprächen 2022 geringfügig zeitlich nach hinten verschoben sind. Die Dynamik des Markthochlaufs ist jedoch weiterhin sehr hoch.

Auch beim Brennstoffzellen-Lkw kommt es zu zeitlichen Verschiebungen nach hinten. Anders als bei den Batterie-Lkw allerdings aufgrund von Verzögerungen bei der Entwicklung der Brennstoffzelle selbst. Trotz technischer Fortschritte fehle es der Brennstoffzelle, so der überwiegende Teil der Hersteller, noch an Robustheit, Effizienz und Stabilität für den anspruchsvollen Einsatz im Fernverkehr. Optimierungsbedarf wird ebenfalls bei den Kosten, dem Packaging und der Kühlung der Brennstoffzelle

als notwendig erachtet. Die Serienreife des Brennstoffzellen-Lkw wird erst am Ende dieses Jahrzehnts oder später gesehen. Die Serienreife beim Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor wird etwas früher als beim Brennstoffzellenantrieb erreicht, da es sich beim Verbrennungsmotor um eine grundsätzlich bekannte und reife Technologie handelt.

Neben der vorhandenen Technologie- und Serienreife sprechen für den Batterie-Lkw, aus Sicht der befragten Hersteller, die niedrigen Betriebskosten. Diese führten bei einer Gesamtkostenrechnung (Total Cost of Ownership, TCO) dazu, dass der Batterie-Lkw in einem relativ kurzen Zeitraum Kostenparität mit dem konventionellen Diesel-Lkw erreichen könne. Die hohe strategische Bedeutung des Batterie-Lkw zeige sich auch im Aufbau von Produktionskapazitäten und den dafür schon getroffenen langfristigen Investitionsentscheidungen. Produktionskapazitäten werden, so die Hersteller, mit einem Vorlauf von fünf bis sieben Jahren geplant. Konkret sind auch die angekündigten Angebote an Beratung und Unterstützungsmaßnahmen, die Kundinnen und Kunden bei der Umstellung ihrer Flotten helfen sollen (vgl. Kapitel 3).



Die Bedeutung von Wasserstoff wird von den Herstellern unterschiedlich bewertet.

Bei der Ausdifferenzierung der Antriebsstrategien der Nutzfahrzeughersteller fällt insbesondere die größere Bedeutung des Einsatzes von Wasserstoff im Verbrennungsmotor auf. Bei den Cleanroom-Gesprächen 2022 hatte der Wasserstoffverbrenner noch keine nennenswerte Rolle gespielt. Zählt man Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor und mit Brennstoffzelle zusammen, liegt der Anteil von Wasserstoffantrieben bei den diesjährigen Cleanroom-Gesprächen bei knapp 20 Prozent der Neuzulassungen im Jahr 2030 in Deutschland und ist damit leicht höher als 2022. Für das Jahr 2033 gehen die Hersteller von einem weiter steigenden Anteil aus, insbesondere bei den Brennstoffzellen-Lkw.

Die stärkere Rolle von Wasserstoffverbrennungsmotoren wird auf drei Gründe zurückgeführt. Erstens ist der Wasserstoffverbrenner bei der aktuellen Novellierung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte unter bestimmten Bedingungen als emissionsfreier Antrieb anerkannt worden.² Damit profitiert er auch in Deutschland von der Befreiung von der Lkw-Maut. Zweitens verzögert sich die Technologie- und Marktreife der Brennstoffzelle für den Einsatz im Lkw bis zum Ende des Jahrzehnts. Drittens kann bei dieser Option auf eine bekannte und bewährte Antriebstechnologie zurückgegriffen werden. Der Wasserstoffverbrenner wird hinsichtlich seiner Anschaffungskosten als eine im Vergleich kostengünstige Antriebsoption gesehen, die das Potenzial einer zeitnahen Serienreife hat. Welche Rolle der Wasserstoffverbrenner langfristig spielen wird, ist un-

**DIE BEDEUTUNG VON WASSERSTOFF
HAT ZUGENOMMEN. FAHRZEUGMODELLE
KOMMEN ABER ERST ZUM ENDE DES JAHR-
ZEHNTS AUF DEN MARKT.**

[2] Schwere Kraftfahrzeuge mit Wasserstoffverbrennungsmotor werden dann als emissionsfrei anerkannt, wenn deren Emissionen bei nicht mehr als 3 g CO₂/tkm oder 1 g CO₂/Pkm gemäß der EU-Zertifizierungsverordnung 2017/2400 (ermittelt mit Hilfe des Vehicle Energy Consumption Calculation Tool – VECTO) liegen.

ter den Herstellern umstritten. Mehrere Hersteller sehen den Einsatz von Wasserstoff im Verbrennungsmotor als Brückentechnologie auf dem Weg zum effizienteren Einsatz von Wasserstoff in der Brennstoffzelle. Ein kleinerer Teil der Hersteller sieht langfristig sowohl für den Brennstoffzellen-Lkw wie auch für den Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor jeweils auch spezifische Anwendungsbereiche. Brennstoffzellen-Lkw werden danach eher im Fernverkehr eingesetzt werden, Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotoren besonders im Schwerlastverkehr (z. B. als Baufahrzeuge) (vgl. Abbildung 3).

Für beide Wasserstoffoptionen gilt, wie der Blick auf die von den Herstellern prognostizierten Absatzzahlen zeigt, dass sie erst am Ende dieses Jahrzehnts an Relevanz gewinnen und dann in größeren Stückzahlen auf den Markt kommen werden (vgl. Abbildung 1).

**NOTWENDIGE ANTRIEBSOPTIONEN ODER
NISCHEN? HERSTELLER SCHÄTZEN DIE ROLLE
VON WASSERSTOFFTECHNOLOGIEN IM LKW
SEHR UNTERSCHIEDLICH EIN.**

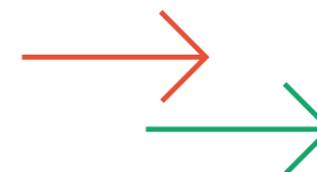
Die eindeutige Unterscheidung zwischen Herstellern, die nur auf den Batterie-Lkw setzen, und denen, die neben dem Batterie-Lkw auch den Brennstoffzellen-Lkw als strategisch notwendig erachten, ist mit der aktuellen Ausdifferenzierung der Antriebsstrategien so nicht mehr möglich. Denn fast alle Hersteller haben ihr Antriebsportfolio um den Wasserstoffverbrenner erweitert. Worin sich diesmal aber ein Teil der Hersteller gegenüber dem anderen Teil abgrenzt, ist die strategische Bedeutung, die dem Thema Wasserstoff insgesamt zugemessen wird.

Der eine Teil der Hersteller sieht im Einsatz von Wasserstoff eine notwendige Option, um alle Einsatzzwecke und Nutzungsszenarien im Straßengüterverkehr dekarbonisieren zu können. Die Nutzung von Wasserstoff in der Brennstoffzelle und im Verbrenner sei besonders für den Schwerlast- und Langstreckenverkehr im Vergleich zum Batterie-Lkw die geeignetere Antriebslösung. Verwiesen wird dabei auf die im Vergleich größere Reichweite von Wasserstofffahrzeugen, die kürzeren Betankungszeiten sowie auf die nicht vorhandenen Nutzlasteinschränkungen, wie sie beim Batterie-Lkw aufgrund der schweren Batterien bestehen. Zudem sähe man beim Batterie-Lkw eine zu große Abhängigkeit von chinesischen Batterieherstellern. Diese Abhängigkeit würde bei Brennstoffzellen und Wasserstoffverbrennungsmotoren nicht bestehen. Aktuell werde an einer effizienteren und kostengünstigeren neuen Generation von Brennstoffzellen gearbeitet, die in Zukunft zur Annäherung der Fahrzeugpreise von Batterie- und Brennstoffzellen-Lkw führen werde. In Bezug auf die Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff gehe man von deutlich fallenden Preisen aus. Der steigende Wasserstoffbedarf in anderen Sektoren wie der Stahl- und Chemieindustrie werde zu einem steigenden Angebot an grünem Wasserstoff führen. Von den Investitionen in Großanlagen für die Wasserstoffherzeugung sowie dem internationalen Handel mit dem Energieträger werde auch der Straßengüterverkehr profitieren.

**NUTZFAHRZEUGINDUSTRIE
STEIGT GANZ AUS DEM THEMA
OBERLEITUNG AUS.**

Der andere Teil der Hersteller sieht Wasserstoff nur als Nischenanwendung. Dies gelte sowohl für den Einsatz von Wasserstoff im Verbrennungsmotor als auch, und das noch stärker, für die Wasserstoffbrennstoffzelle. Wasserstoff wird von dieser Gruppe der Hersteller als komplementäre Lösung zum Batterie-Lkw gesehen, um sehr spezifische Betriebsfälle abzudecken oder in Anwendungskontexten, in denen kostengünstiger Wasserstoff verfügbar ist (z. B. Chemieindustrie). Neben den Nachteilen der Wasserstoffantriebe bei den Betriebskosten wird die ausreichende Verfügbarkeit von für den Straßengüterverkehr bezahlbarem grünem Wasserstoff in einem absehbaren und notwendigen Zeitraum als besonders kritisch gesehen. Zudem würden andere Sektoren mit dem Mobilitätssektor um den knappen grünen Wasserstoff konkurrieren, bei denen wegen mangelnder Alternativen eine höhere Zahlungsbereitschaft bestünde.

Schon bei den letzten Cleanroom-Gesprächen hatte kein Hersteller der Oberleitungstechnologie eine hohe strategische Priorität zugemessen. Einzelne Hersteller, bei denen es eine gewisse Offenheit für das Thema gab, haben bei den diesjährigen Gesprächen angekündigt, ihre Entwicklungsaktivitäten bezüglich des Themas Oberleitung einzustellen. Somit tauchen in den prognostizierten Absatzzahlen diesmal keine Oberleitungs-Lkw mehr auf. Als ausschlaggebenden Grund für diese Entscheidung weisen die Hersteller auf das fehlende Signal aus der Politik hin, diese Technologie zu unterstützen. Ohne Vorleistung und erhebliche Unterstützung durch den Staat werde es nicht zu den notwendigen Investitionen in den Aufbau der Oberleitungsinfrastruktur kommen.



Maßgeblicher Faktor für die Kostenparität zwischen Diesel-Lkw und klimafreundlichem Lkw: die Energiekosten

Die Hersteller betonen, dass die Anschaffung eines Lkw durch Transport-, Speditions- und Logistikunternehmen grundsätzlich rationaleren Kriterien folge als dies beim Kauf eines Pkw der Fall sei. In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeugeinsatzes müssen dabei die Gesamtkosten über die Lebens- bzw. Haltedauer des Fahrzeuges betrachtet werden. Denn wegen der hohen Fahrleistung und des hohen Energieverbrauchs seien bei schweren Nutzfahrzeugen die Betriebskosten, insbesondere die Energiekosten, der ausschlaggebende Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge.

Zur zunehmenden Kostenparität zwischen Batterie-Lkw und Diesel-Lkw tragen in den nächsten Jahren die sukzessiv fallenden Fahrzeugpreise bei. Ein Batterie-Lkw koste heute, laut Angaben der Hersteller, das Zwei- bis Dreifache eines Diesel-Lkw. Im Jahr 2030 würde der Fahrzeugpreis, da sind sich die Hersteller in ihren Einschätzungen einig, auf das Anderthalbfache bis Zweifache des Preises eines Diesel-Lkw fallen und in den Folgejahren, dank Skaleneffekten bei der Produktion sowie fallenden Batteriepreisen, weiter sinken.

KOSTENPARITÄT HÄNGT ENTSCHEIDEND VON DEN ENERGIEKOSTEN AB.

Dazu kommen die im Vergleich niedrigen Betriebskosten sowie der hohe Wirkungsgrad des batterieelektrischen Antriebes, so dass der Zeitpunkt der Kostenparität mit dem Diesel-Lkw laut Herstellern schnell erreicht sein könnte. Entscheidender Betriebskostenbestandteil sei der Strombezugspreis. Je niedriger der Strompreis und je höher die Jahresfahrleistung, desto schneller können die höheren Anschaffungskosten durch die niedrigeren Betriebskosten kompensiert werden. Die Mautbefreiung und die Ersparnis der CO₂-Bepreisung auf Diesel tragen zum schnellen Erreichen der Kostenparität bei. Schon heute erreiche, so die Hersteller, der Batterie-Lkw in spezifischen Anwendungskontexten (günstiger Strom, hohe Laufleistung, Nutzung von Mautstraßen etc.) Kostenparität mit dem Diesel-Lkw. Generell wird die Kostenparität des Batterie-Lkw in naher Zukunft gesehen. Mit Blick auf den aktuell noch deutlich höheren Anschaffungspreis könne der Batterie-Lkw seine Vorteile bei den niedrigen Betriebskosten nur dann wirklich ausspielen, wenn er im Fernverkehr eingesetzt werde. Deswegen sei der Aufbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur zentral für die zeitnahe Kostenparität des Batterie-Lkw.

Auch beim Brennstoffzellen-Lkw wird der Schlüssel zur Kostenparität mit dem Diesel-Lkw an den Energiekosten festgemacht. Entscheidend sei, so die Hersteller, die Verfügbarkeit von grünem und kostengünstigem Wasserstoff. Für eine Kostenparität mit dem Diesel-Lkw gibt es unterschiedliche Einschätzungen bei den Herstellern. Für einige Hersteller braucht es zunächst einen Wasserstoffpreis von 8 €/kg, der dann für die Kostenparität zwischen einem Brennstoffzellen-Lkw und einem Diesel-Lkw auf 5 bis 6€/kg fallen müsste. Andere Hersteller rechnen erst mit einer Kostenparität, wenn der Wasserstoffpreis deutlich unter 5€/kg fällt. Einzelne sprechen von Kostenparität erst bei 3€/kg.

Im Vergleich zum Diesel-Lkw entstehen die Investitionsmehrkosten beim Brennstoffzellen-Lkw durch die Brennstoffzelle, die Peripherie der Brennstoffzelle, die Wasserstofftanks sowie durch die zusätzlich verbaute notwendige Batterie. Die Hersteller gehen auch beim Brennstoffzellen-Lkw von sukzessiv fallenden Fahrzeugpreisen aus. Brennstoffzellen-Lkw würden 2027 das Dreifache eines konventionellen Diesel-Lkw kosten, 2030 das Zweieinhalb- bis Dreifache und sich 2035 dem zweifachen Preis eines Diesel-Lkw annähern.



Bei Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor gehen einzelne Hersteller davon aus, dass diese bei Großserienfertigung nur geringfügig teuer als Diesel-Lkw sein werden. Der Einsatz von Wasserstoff im Verbrennungsmotor ist aber deutlich ineffizienter als die Nutzung in der Brennstoffzelle. Wegen des vermuteten geringeren Anschaffungspreises könnten Wasserstoffverbrenner trotzdem für bestimmte Anwendungsgebiete wirtschaftlicher als Brennstoffzellen-Lkw oder Batterie-Lkw sein.

EMISSIONSFREIE ANTRIEBSTECHNOLOGIEN BIETEN NEUEN WETTBEWERBERN DIE CHANCE, IN DEN EUROPÄISCHEN MARKT EINZUTRETEN.

Von Nutzfahrzeugherstellern in Europa wird erwartet, dass sie ihren Kundinnen und Kunden ein europaweites Servicenetzwerk zur Verfügung stellen. Diese hohe Hürde hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass der Eintritt für neue Wettbewerber erschwert war. Die alternativen Antriebe bieten aber, dessen sind sich die befragten Hersteller bewusst, Chancen für den Markteintritt von neuen Wettbewerbern in Europa. Sie gehen davon aus, dass außer-europäische reine E-Lkw-Hersteller ihre Fahrzeuge in den nächsten Jahren mit steigender Wahrscheinlichkeit nach Europa bringen. Besonders aufmerksam beobachtet die Branche die Fortschritte speziell der chinesischen Nutzfahrzeughersteller. Verwiesen wird auf die elektrischen Busse, bei denen es chinesischen Herstellern gelungen ist, mit wettbewerbsfähigen Modellen auf dem europäischen Markt Fuß zu fassen.



2

Anforderungen der Hersteller an politische und regulatorische Rahmenbedingungen

Das politische Umfeld und die regulatorischen Rahmenbedingungen für den Umstieg auf klimafreundliche Nutzfahrzeuge haben sich seit den Cleanroom-Gesprächen 2022 deutlich verändert. Mit der Einführung einer CO₂-Komponente bei der Lkw-Maut sowie der Unterstützung der Novellierung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte für schwere Nutzfahrzeuge hat das BMDV, wie im Gesamtkonzept klimafreundliche Nutzfahrzeuge angekündigt, ein zielgerichtetes regulatorisches Umfeld für den Markthochlauf klimafreundlicher Nutzfahr-

zeuge geschaffen. Mit der BMDV-Richtlinie zur Förderung von Nutzfahrzeugen mit alternativen, klimaschonenden Antrieben und dazugehöriger Tank- und Ladeinfrastruktur (Richtlinie KsNI) wurde mit den Förderentscheidungen im Zeitraum 2021 bis 2023 ein wichtiger Impuls für den beginnenden Markthochlauf klimafreundlicher Nutzfahrzeuge und zugehöriger Infrastruktur gesetzt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie die Nutzfahrzeughersteller die aktuellen Rahmenbedingungen im Hinblick auf den geplanten Markthochlauf der Fahrzeuge bewerten.

Planungssicherheit ist für die Hersteller und ihre Kunden von großer Bedeutung.

Die in den letzten Jahren geschaffenen regulatorischen Rahmenbedingungen (CO₂-Flottenzielwerte, CO₂-Maut und CO₂-Bepreisung) für die Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs werden von den meisten Nutzfahrzeugherstellern grundsätzlich begrüßt. So wird die CO₂-Komponente bei der Lkw-Maut als wichtiges Instrument für den Umstieg auf klimafreundliche Nutzfahrzeuge bezeichnet. Es brauche aus Herstellersicht grundsätzlich klare Vorgaben und Anreize für das Erreichen der Klimaschutzziele.

Einigkeit besteht bei den Herstellern darüber, dass es für den Antriebswechsel im Straßengüterverkehr klare, zuverlässige und planbare Rahmenbedingungen für ihre Unternehmen und ihre Kundinnen und Kunden braucht. Planbarkeit brauche es nicht nur in Bezug auf die langfristige Gestaltung von regulatorischen Rahmenbedingungen, wie der Mautbefreiung bzw. -reduktion für emissionsfreie Lkw über 2027 hinaus und der CO₂-Bepreisung auf den Dieselmotoren, sondern auch in Bezug auf das Wann und das Wo der zu errichtenden Tank- und Ladeinfrastruktur sowie die Ausgestaltung von Förderprogrammen.

Aus Sicht der Kundinnen und Kunden amortisieren sich die in der Anschaffung deutlich teureren klimafreundlichen Lkw sowie die für den Betrieb notwendigen Investitionen in den Infrastrukturaufbau erst nach mehreren Jahren. Bei einer

DIE GESCHAFFENEN REGULATORISCHEN RAHMENBEDINGUNGEN WERDEN VON DEN HERSTELLERN GRUNDSÄTZLICH BEGRÜSST.

Haltedauer eines Lkw von im Regelfall fünf Jahren brauche es transparente und langfristig kalkulierbare Rahmenbedingungen, damit Kundinnen und Kunden die für den Umstieg notwendigen Investitionsentscheidungen treffen können.

Zur Planungssicherheit trage ebenfalls eine klare Kommunikation der Politik bei. Die Hersteller wünschen sich ein eindeutiges Signal vonseiten der Politik, dass die Transformation des Straßengüterverkehrs, speziell der Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur, gewollt ist. Ein Teil der Hersteller wünscht sich eine Kommunikation, die den vorrangigen Aufbau von Ladeinfrastruktur für Lkw betont. Vor dem Hintergrund der vorhandenen Technologie- und Serienreife des Batterie-Lkw würde dies Klarheit für die Kundinnen und Kunden schaffen. Ein anderer Teil der Hersteller wünscht sich angesichts des aktuellen Stopps von Wasserstoffförderprogrammen den Einsatz der Politik für das Thema Wasserstoff und den Aufbau der Wasserstofftankinfrastruktur.



**KSNI HAT DEN EINSTIEG IN DEN
UMSTIEG ERMÖGLICHT. VIELE
HERSTELLER SEHEN GUTE GRÜNDE
FÜR EINE NEUAUFLAGE DER FAHR-
ZEUGFÖRDERUNG.**

Mit Blick auf den aktuellen Start des Serienhochlaufs und die bestehende Kaufzurückhaltung nach dem Ende des KsNI-Förderprogramms hält der überwiegende Teil der Nutzfahrzeughersteller eine Neuaufgabe des Förderprogramms für notwendig. Denn der Umstieg auf klimafreundliche Nutzfahrzeuge passiere nicht von heute auf morgen. Ihre Kundinnen und Kunden erprobten eine neue Technologie zunächst mit einer kleineren Anzahl von Fahrzeugen. Erst zu einem späteren Zeitpunkt werde dann eine Entscheidung über eine größere Flottenumstellung getroffen. Da dieser Erprobungs- und Entscheidungsprozess mehrere Jahre dauern könne, brauche es aus Sicht der Hersteller jetzt einen Investitionsimpuls durch ein Förderprogramm. Denn die Förderung erlaube es den Kundinnen und Kunden – insbesondere kleineren Transportunternehmen –, trotz der Mehrkosten in eine neue Technologie einzusteigen. Ohne Förderung sei es sehr herausfordernd, Kundinnen und Kunden von diesem ersten Schritt zu überzeugen. Dieser zeitnahe erste Schritt der Flottenumstellung sei für das Erreichen der europäischen CO₂-Flottenzielwerte durch die Hersteller wichtig. Denn nur so bleibe Zeit, dass die Kundinnen und Kunden vor dem Jahr 2030 noch eine größere Umstellung der Flotte umsetzen können. Ein neues Förderprogramm für die Anschaffung von Nutzfahrzeugen könne aus Sicht der Hersteller eine deutlich niedrigere Förderintensität als die 80 Prozent in der Richtlinie KsNI in Bezug auf Investitionsmehrkosten der klimafreundlichen Nutzfahrzeuge haben, die zudem sukzessive über die Richtlinienlaufzeit reduziert werde. Eine Minderheit der Hersteller vertrat die Meinung, dass es keinen Förderbedarf bei der Investition in klimafreundliche Nfz mehr gäbe und Förderung nur zu Abhängigkeiten führe.

Entscheidende Rahmenbedingung für den Hochlauf ist der zügige Aufbau der Infrastruktur.

Für die Nutzfahrzeughersteller ist das Tempo des Infrastrukturaufbaus, insbesondere der Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur, der größte Unsicherheitsfaktor für den Erfolg des Markthochlaufs und das Erreichen der Klimaschutzziele im Straßengüterverkehr. Der Engpass liege in den nächsten Jahren nicht bei der Fahrzeug-, sondern bei der Infrastrukturverfügbarkeit. Der Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur sei der Schlüssel zum Erfolg des Markthochlaufs. Die Nutzfahrzeughersteller sehen den Staat in der Pflicht, mit einem zügigen Infrastrukturaufbau die passenden Rahmenbedingungen für die Transformation des Straßengüterverkehrs zu schaffen. Dies gelte besonders für den Aufbau der Ladeinfrastruktur, da Batterie-Lkw kurz- bis mittelfristig den Großteil der Neuzulassungen klimafreundlicher Nutzfahrzeuge ausmachen würden. Angesichts der Kürze des Zeitraums bis 2030 solle der Staat jetzt massiv in Tank- und Ladeinfrastruktur investieren. Vorgeschlagen wird zudem ein jährliches Assessment, das nicht nur die Zielerreichung im Rahmen

DER ZÜGIGE AUSBAU DER ÖFFENTLICHEN TANK- UND LADEINFRASTRUKTUR HABE LAUT HERSTELLERN HÖCHSTE PRIORITÄT UND SEI WICHTIGSTE RAHMENBEDINGUNG FÜR DEN MARKTHOCHLAUF.

der europäischen „Alternative Fuel Infrastructure Regulation“ (AFIR) überwacht, sondern auch einen Abgleich des Infrastrukturaufbaus mit dem Fahrzeughochlauf ermöglicht. Für die Finanzierung des Infrastrukturaufbaus schlagen einige Hersteller vor, einen Teil der zusätzlichen Einnahmen durch die CO₂-Komponenten bei der Lkw-Maut zu nutzen.

**HERSTELLER BEFÜRCHTEN
VERZÖGERUNGEN BEIM AUFBAU
VON DEPOTLADEINFRASTRUKTUR,
DIE DEN MARKTHOCHLAUF
AUSBREMSEN KÖNNTEN.**

Einigkeit besteht bei den Nutzfahrzeugherstellern darüber, dass der überwiegende Teil der Ladevorgänge zukünftig an nicht-öffentlich zugänglicher Ladeinfrastruktur im Depot stattfindet (vgl. Kapitel 3). Auch für die Wirtschaftlichkeit eines E-Lkw sei das Depotladen von zentraler Bedeutung. Denn das Depotladen der Lkw ist kostengünstiger und kalkulierbarer als das öffentliche Laden. Da es die Befürchtung gibt, dass der Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur länger dauern könnte, sei es aus Sicht der Hersteller für den Markthochlauf umso wichtiger, dass Anwenderinnen und Anwender beim Aufbau der Depotladeinfrastruktur unterstützt werden. Zudem müsse dabei mit den bestehenden Rahmenbedingungen umgegangen werden, da man nicht wie beim Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur im Notfall den Standort wechseln könne. Das bedeutet oft hohe Investitionskosten. Neben einem Förderprogramm für Depotladeinfrastruktur brauche es Unterstützung bei der zügigen Abwicklung des Netzanschlussbegehrens und der Umsetzung des Netzanschlusses bzw. bei dessen Erweiterung.

Neue Technologien brauchen neue technische Standards bzw. Anpassungen des bestehenden Rechtsrahmens. Bei den Cleanroom-Gesprächen wurde der Anpassungsbedarf von den Herstellern insbesondere hinsichtlich der Wasserstofftechnologien thematisiert.

So sehen die Hersteller etwa einen besonderen Anpassungsbedarf bei den europäischen Vorschriften zu Höchstgewichten und -abmessungen von schweren Nutzfahrzeugen. Dies betrifft zum einen die Fahrzeuglänge: Die Platzierung von Wasserstofftanks hinter die Fahrerkabine führt bei einigen Herstellern dazu, dass mit der längeren Sattelzugmaschine der gesamte Sattelzug die bestehenden Vorgaben zur Fahrzeuglänge überschreitet. Zum anderen betrifft es das zulässige Gewicht der Fahrzeuge und die zulässigen Achslasten. Hier sind sowohl Batterie- als auch Brennstoffzellen-Lkw betroffen, die durch das zusätzliche Gewicht der schweren Batterien und einen anderen Aufbau des Antriebsstranges gegenüber dem Diesel-Lkw an Nutzlast verlieren. Dieser Anpassungsbedarf soll mit der in Arbeit befindlichen Novellierung der EU-Richtlinie 96/53/EG adressiert werden.

**FÜR DEN EINSATZ VON WASSERSTOFF
IM STRASSEN GÜTERVERKEHR WERDEN
ANPASSUNGEN DER REGULATORISCHEN
RAHMENBEDINGUNGEN NÖTIG.**

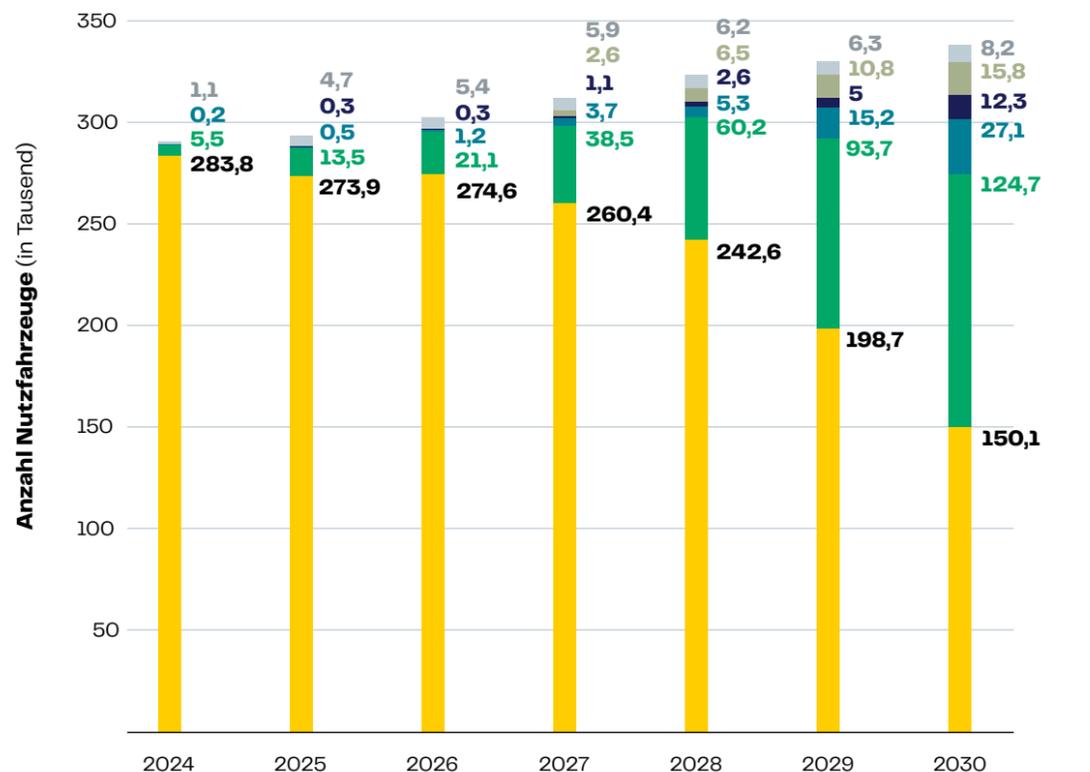


Der Wasserstoffverbrennungsmotor hat bei vielen Herstellern an Bedeutung gewonnen. Vor diesem Hintergrund sehen Hersteller einen Anpassungsbedarf bei der Energiebesteuerung von Wasserstoff. Während die Nutzung von Wasserstoff in Brennstoffzellen nicht energiesteuerpflichtig ist, wird der Einsatz von Wasserstoff im Verbrennungsmotor besteuert. Diese steuerliche Ungleichbehandlung

führe besonders an Wasserstofftankstellen zu Abrechnungsproblemen. Wasserstoff solle, so der Wunsch der Hersteller, unabhängig von seiner Verwendung in der Brennstoffzelle oder im Verbrennungsmotor steuerlich einheitlich behandelt werden.

Abbildung 2

Prognostizierte Absatzzahlen schwerer Nutzfahrzeuge (N3/> 12 t)
In Europa laut Herstellerangaben



Hinweise:
Die Rückmeldungsquote bezogen auf die aktuellen Marktanteile lag bei 90 Prozent. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Werte gerundet.
Aufgrund unvollständiger Angaben der Hersteller werden für Europa keine Zahlen für 2033 abgebildet.

- H₂-Brennstoffzelle
- Batterie
- Diesel
- Bio-Erdgas
- Plug-in-Hybrid
- H₂-Verbrenner

Quelle: Angaben der beteiligten Nutzfahrzeughersteller. Eigene Darstellung.

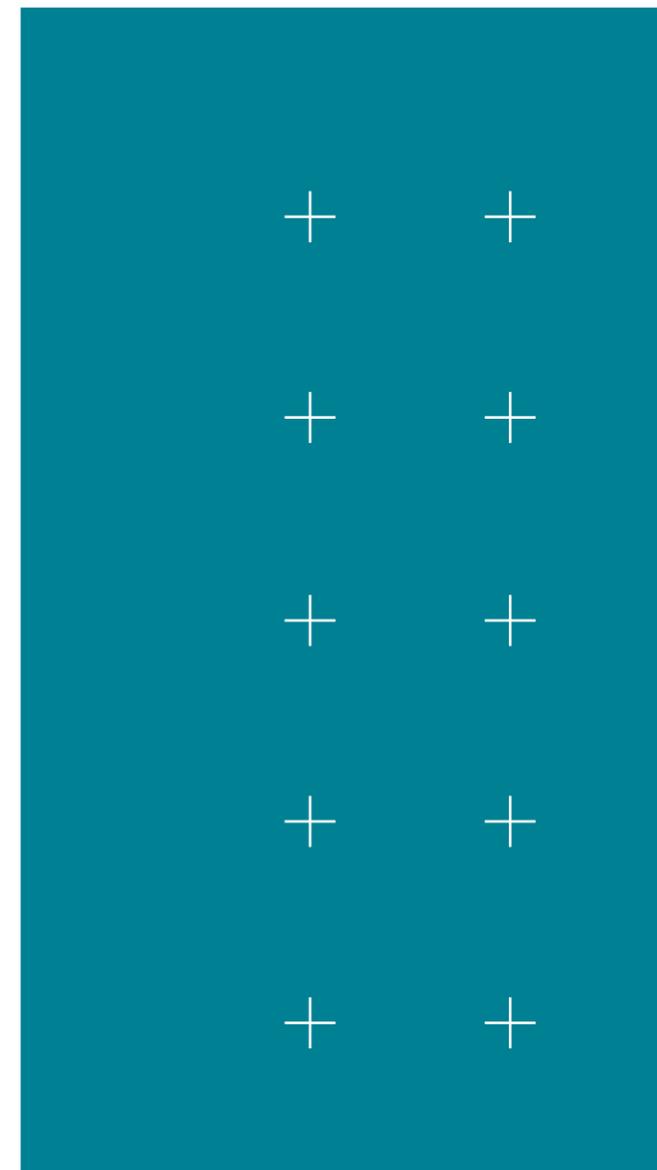
Anpassungsbedarf sehen Hersteller, in deren Antriebsstrategie Wasserstoff eine wichtige Bedeutung hat, auch beim europaweiten Abkommen über den Transport von Gefahrgut (ADR)³. Der klimaneutrale Transport von Wasserstoff an Wasserstofftankstellen darf heute laut ADR nicht mit einem Brennstoffzellen- oder Wasserstoffverbrenner-Lkw erfolgen. In einem Entwurf für die nächste turnusmäßige Aktualisierung der ADR ist vorgesehen, dass auch Brennstoffzellen-Lkw und Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotoren Wasserstoff transportieren dürfen.

Ein weiterer Wunsch aus dem Kreis der Hersteller ist, den Einsatz von Wasserstoff im Rahmen der Umsetzung der europäischen Erneuerbare-Energien-Richtlinie durch eine Mehrfachanrechnung von grünem Wasserstoff bei der Treibhausgaserminderungsquote stärker zu fördern. Von besonderer Bedeutung sei dabei, dass die Zertifizierung von grünem Wasserstoff transparent und vertrauenswürdig gestaltet werde.

DEUTSCHLAND IST FÜR DAS ERREICHEN DER EU-CO₂-FLOTTENZIELWERTE EIN ENTSCHEIDENDER ABSATZMARKT FÜR DIE NUTZFAHRZEUGHERSTELLER.

Ein Vergleich der von den Herstellern angegebenen Absatzzahlen für Deutschland (vgl. Abbildung 1) und für Europa (vgl. Abbildung 2) zeigt sehr anschaulich die Vorreiterfunktion Deutschlands für den Markthochlauf klimafreundlicher Nutzfahrzeuge. Vor dem Hintergrund, dass es sich beim deutschen Markt um einen der absatzstärksten Märkte für schwere Nutzfahrzeuge in Europa handelt, spielt er für die Nutzfahrzeughersteller eine zentrale Rolle für das Erreichen der europäischen CO₂-Flottenzielwerte. So liegt im Jahr 2030 der Anteil der emissionsfreien bzw.

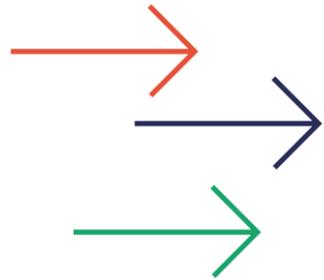
emissionsarmen Antriebe (BEV, PHEV, H₂-ICE, FCEV, Bio-Erdgas) an den insgesamt verkauften Neufahrzeugen in Deutschland laut den kumulierten Prognosen der Hersteller bei 73 Prozent. In Europa liegt der Anteil zum gleichen Zeitpunkt nur bei 56 Prozent. Einen ähnlich hohen Marktanteil wie in Deutschland erreichen emissionsfreie bzw. emissionsarme Antriebe in Europa laut den Prognosen der Hersteller etwas später, nämlich um das Jahr 2033.



[3] ADR ist das Akronym von „Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route“, dem Europäischen Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße.

3

Herausforderungen der verschiedenen technologischen Pfade



DIE FAHRZEUGHERSTELLER SEHEN BEI DER BATTERIE-TECHNOLOGIE DIE NOTWENDIGE ROBUSTHEIT UND REIFE FÜR DEN EINSATZ VON LKW AUCH IM FERNVERKEHR ALS ERREICHT AN.

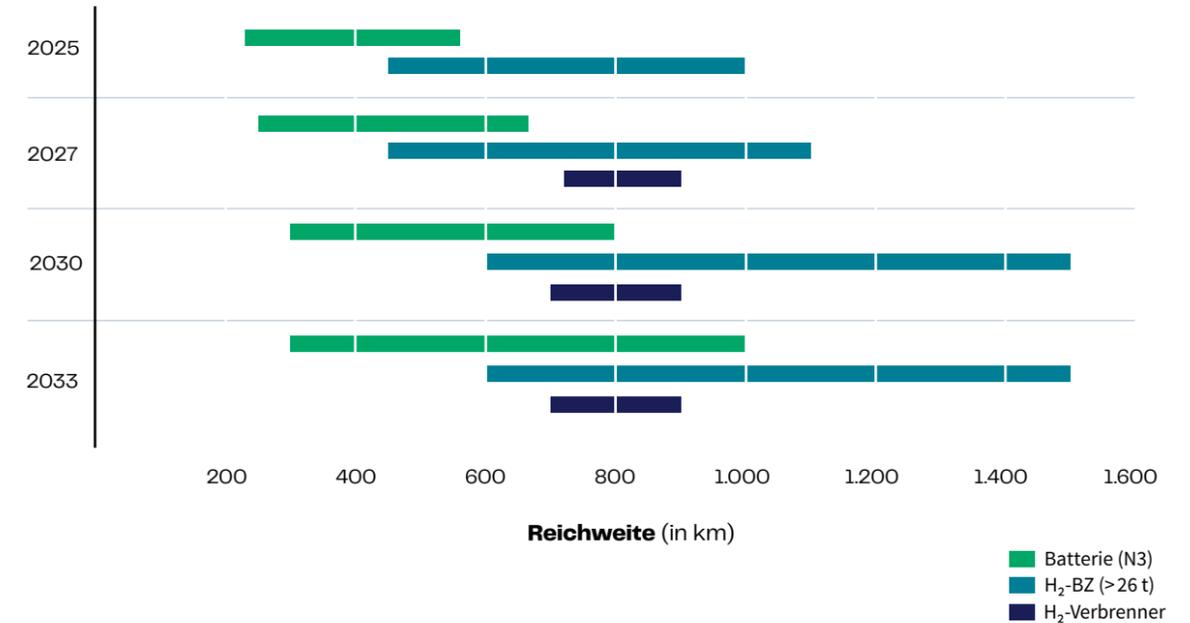
Fragen zum Stand der Technik, zu den weiteren Entwicklungsschritten, zu technischen Spezifikationen und zum konkreten Infrastrukturbedarf waren erneut Teil der Cleanroom-Gespräche. Diese Informationen sind besonders relevant für die Planungen und die Ausgestaltung des Infrastrukturaufbaus und der Rahmenbedingungen.

Batterie und Ladeinfrastruktur

Die Entwicklung der Batterietechnologie hat in den letzten beiden Jahren kontinuierlich Fortschritte gemacht und ist inzwischen nicht nur für den Einsatz im Regional- und Verteilerverkehr, sondern auch für den Einsatz im Fernverkehr ausgereift und robust. Diese Einschätzung zum Batterie-Lkw teilen alle der befragten Nutzfahrzeughersteller. Und dies, obwohl sich der Verbau der Batterie im Lkw deutlich vom Pkw unterscheidet. Während die Batterie im Pkw meistens im Unterbau des Fahrzeuges platziert und durch einen massiven Crashrahmen vor Beschädigungen geschützt ist, sind Batterien beim Lkw im und am Leitrahmen befestigt und damit mechanischen Spannungen, Spritzwasser und hohen Temperaturdifferenzen ausgesetzt.

Abbildung 3

Prognostizierte Reichweitenspanne alternativ angetriebener schwerer Nutzfahrzeuge (> 12 t)



Quelle: Angaben der beteiligten Nutzfahrzeughersteller. Eigene Darstellung.

IN DEN NÄCHSTEN JAHREN WERDEN BEI DER BATTERIEENTWICKLUNG KEINE QUANTENSPRÜNGE ERWARTET, SONDERN ÜBERWIEGEND INKREMENTELLE VERBESSERUNGEN BEI ENERGIEDICHTE, KOSTEN, LEBENSDAUER UND EFFIZIENZ.

Fernverkehrstaugliche Batterie-Lkw-Modelle sollen ab Ende 2024 auf den Markt kommen. Diese würden nach Herstellerangaben über ausreichende Batteriekapazitäten und Reichweiten für den Einsatz im Fernverkehr verfügen. Zudem sollen entsprechende Lade-Inlets für das Megawatt-Laden verbaut oder nachrüstbar sein. Die Reichweiten der Batterie-Lkw werden in den nächsten Jahren zudem immer weiter steigen (vgl. Abbildung 3), was insbesondere an den höheren Batteriekapazitäten liege, die in den Fernverkehrs-Lkw verbaut werden (vgl. Abbildung 5). Für den Einsatz des Batterie-Lkw in der täg-

lichen Logistikpraxis des Regional- und Fernverkehrs werden von den Herstellern keine grundlegenden Herausforderungen mehr gesehen.

Die befragten Nutzfahrzeughersteller erwarten in diesem Jahrzehnt keine großen Sprünge bei der Entwicklung der Batterietechnologie, sondern weiterhin einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess, wie er auch schon in den vergangenen Jahren stattgefunden hat. Im Mittelpunkt der Optimierungsbemühungen stehen die Energiedichte, die Kosten, die Lebensdauer der Batterien und die Effizienz.

Sowohl die volumetrische als auch die gravimetrische Energiedichte hätten sich schon in den letzten Jahren rapide entwickelt. Die Energiedichte der Batterien verbessere sich laut Herstellereinschätzung kontinuierlich um fünf Prozent pro Jahr. Zukünftig wird in Bezug auf das Thema Energiedichte ein hohes Verbesserungspotenzial bei der Batteriearchitektur gesehen. Während heute noch bei Batterien ein modularer Grundaufbau genutzt wird, kann zukünftig mit sogenannten „Cell-to-Pack“-Systemen auf den Einsatz von Batteriemodulen verzichtet werden. Batteriezellen werden direkt in das Batteriepack eingesetzt. Das neue Packaging-Konzept führe nicht nur zu höheren Energiedichten bei der Batterie, sondern spare gleichzeitig Kosten. Zudem steige trotz höherer Kapazität der Platzbedarf für die Batterie nicht.

Ähnlich wie bei der Einschätzung zur Batterieentwicklung wird von den Herstellern bei den Batteriekosten in den nächsten Jahren kein überraschender Preissprung erwartet. Die erwartete evolutionäre Entwicklung der Batteriepreise führe aus ihrer Sicht dazu, dass diese alle drei bis vier Jahre um 10 bis 15 Prozent fallen. Kostensenkungspotenzial sehen die Hersteller bei der Materialzusammensetzung der Batterien und bei der Batteriefertigung. Während der aktuelle Weltmarktpreis für Lithiumbatte-

rien bei 200 Dollar pro Kilowattstunde läge, sei es das Ziel, beim Batteriepreis unter 100 Dollar pro Kilowattstunde zu kommen. Temporäre Materialknappheit (z. B. bei Lithium) und neuere, zunächst teurere Batterietechnologien würden aber preissteigernd wirken.

Auch in Bezug auf die Lebensdauer der Batterie gibt es Fortschritte. Die erlangte Robustheit der Batterietechnologie ermöglicht es inzwischen, dass Hersteller ihren Kundinnen und Kunden eine für den Einsatz im Fernverkehr taugliche Lebensdauer der Batterie von mehr als eine Million Kilometern garantieren. Andere Hersteller garantieren eine Batterie-Lebensdauer von bis zu acht Jahren bei einem „State of Health“ der Batterie von 80 Prozent.

Die angestrebte Lebensdauer der Batterie orientiert sich dabei an der Dauer des Fahrzeuglebens. In diese Richtung geht auch die in diesem Jahr von der Europäischen Union verabschiedete EURO-7-Verordnung, die eine Mindesthaltbarkeit von Batterien vorschreibt. Traktionsbatterien in einem elektrischen Lkw müssen laut der Verordnung über eine Laufleistung von mindestens 900.000 km halten. Aktuell sei der Umgang mit der Batterie konservativ, um die Lebensdauer der Batterie zu verlängern. So werden mit Hilfe des Batteriemanagementsystems und der Temperierung der Batterie ständige und große Temperaturschwankungen vermieden. Um ein vorzeitiges Altern der Batterien zu verhindern, begrenzen die Hersteller ebenfalls das nutzbare Kapazitätsfenster bei den Batterien ihrer Fahrzeuge. Mit dem Einsatz von neuen Zellchemien soll die Lebensdauer der Batterie weiter gesteigert werden.

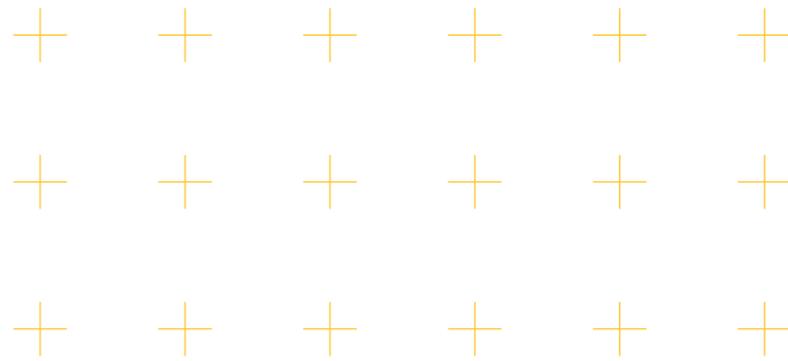
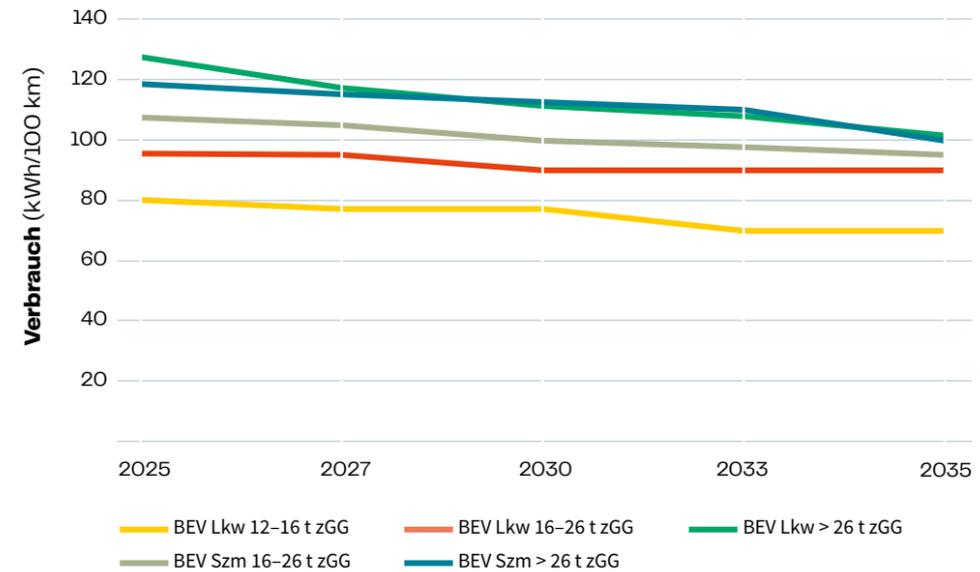


Abbildung 4

Mittlere Verbrauchsentwicklung schwerer batterieelektrischer Nutzfahrzeuge (> 12 t)



Quelle: Angaben der beteiligten Nutzfahrzeughersteller. Eigene Darstellung.

Die kontinuierlichen Verbesserungen beim Batterie-Lkw zeigen sich auch beim Energieverbrauch der Fahrzeuge (vgl. Abbildung 4). Hier gehen die Hersteller über die nächsten zehn Jahre von einer Effizienzsteigerung im zweistelligen Prozentbereich aus. Besonders bei den schweren Lkw und Kombinationen aus Sattelzugmaschinen (Szm) und Auflieger über 26 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht (zGG) kommt es zu durchschnittlichen Verbesserungen von 18 Prozent (Szm) bzw. von 24 Prozent (Lkw) beim Verbrauch.

LITHIUM-EISENPHOSPHAT-BATTERIEN (LFP) GEWINNEN FÜR DEN EINSATZ IM LKW ZUNEHMEND AN BEDEUTUNG.

Die Wahl eines für den Einsatz im Lkw geeigneten Batterietyps ist immer mit gewissen Trade-offs verbunden. Alle Zellchemien haben spezifische Stärken und Schwächen. Während Nutzfahrzeughersteller bisher fast ausschließlich Nickel-Mangan-Kobalt-Batterien (NMC) genutzt haben, gewinnen seit 2022 zunehmend Lithium-Eisenphosphat-Batterien (LFP) an Bedeutung. Beide Batterietechnologien haben spezifische Vorteile: NMC-Batterien sind leichter und haben eine höhere Energiedichte. LFP-Batterien haben dagegen eine höhere Lebensdauer, wozu die höhere Zyklenfestigkeit beiträgt, ein größeres Kapazitätsfenster kann freigegeben werden (statt 75 Prozent ungefähr 90 Prozent der Nennkapazität) und sie sind umweltverträglicher, da die giftigen Schwermetalle Kobalt und Nickel nicht genutzt werden. Nicht zuletzt sind sie aktuell im Regelfall preisgünstiger.

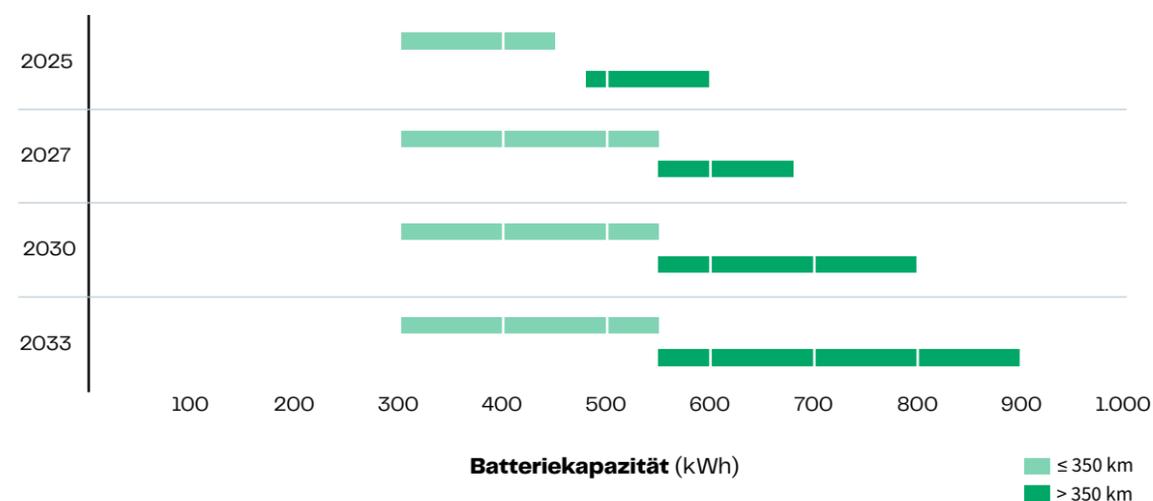
Die Bewertung der LFP-Batterie fällt bei den befragten Nutzfahrzeugherstellern unterschiedlich aus. Während einzelne diese Batteriechemie für den Einsatz im Lkw aktuell schon für besser geeignet halten und in der Nutzung einen Wettbewerbsvorteil sehen, verorten andere die LFP-Batterie wegen ihrer geringeren Energiedichte nicht im Fern-, sondern im Regionalverkehr. Sie wollen zunächst weiter NMC-Batterien in den Fernverkehr-Lkw einsetzen. Andere gehen davon aus, dass sich beide Batterietechnologien in den nächsten Jahren in ihren Eigenschaften annähern.

DIE SERIENREIFE DER FESTSTOFFBATTERIE SEHEN DIE FAHRZEUGHERSTELLER ERST IN EINIGEN JAHREN.

Erst mit der Feststoffbatterie verbinden die befragten Nutzfahrzeughersteller einen deutlichen technologischen Sprung bei der Batterietechnologie. Feststoffbatterien würden aufgrund der höheren Energiedichte größere Reichweiten ermöglichen, seien kostengünstiger und versprechen kürzere Ladezeiten und eine längere Lebensdauer. Da in Festkörperbatterien keine flüssigen Elektrolyte mehr eingesetzt werden, wird das Thema Temperatur zudem deutlich weniger Einfluss auf die Batteriealterung haben. Die Erwartung ist aber, dass es bis zur industriellen Serienproduktion der neuen Batterietechnologie noch einige Jahre dauern werde.

Abbildung 5

Prognostizierte Batteriekapazität schwerer elektrischer Nutzfahrzeuge (> 12 t)



Quelle: Angaben der beteiligten Nutzfahrzeughersteller. Eigene Darstellung.

HERSTELLER VERFOLGEN VERSCHIEDENE STRATEGIEN, UM DEN BEZUG VON NOTWENDIGEN BATTERIEN SICHERZUSTELLEN. ABHÄNGIGKEITEN VON CHINESISCHEN LIEFERANTEN SIND GENERELL GROSS.

Eine entscheidende Stellgröße für den Hochlauf der Batterie-Lkw ist der ausreichende Zugriff auf Batterien. Die Abhängigkeit von chinesischen Batteriezulieferern – da sind sich alle Hersteller einig – sei sehr hoch. Die Nutzfahrzeughersteller reagieren auf diese Abhängigkeit mit unterschiedlichen Strategien. Ein Teil versucht eigene Produktionskapazitäten aufzubauen bzw. geht Joint Ventures zur Produktion von Batteriezellen ein. Andere Hersteller machen Verträge mit verschiedenen Batterieproduzenten, um Abhängigkeiten zu reduzieren. Ein anderer Teil fährt eine Diversifizierungsstrategie aus langfristigen Verträgen, unterschiedlichen Lieferanten, Anpassungsmöglichkeiten bei den Lieferverträgen sowie dem Setzen auf verschiedene Zellchemien.

DIE MARKTEINFÜHRUNG VON MCS-FÄHIGEN BATTERIE-LKW BEGINNT 2025.

Mit der Nutzung des Megawatt-Ladesystems (im Englischen „Megawatt Charging System“, MCS) verbinden die Hersteller die Langstreckentauglichkeit des Batterie-Lkw. Der Standardisierungsprozess für den neuen Ladestandard, mit dem Ladeleistungen von 1 MW und mehr möglich sind, sei kurz vor der Fertigstellung. Einzelne Her-

steller haben schon für 2025 den Großserien-Auftakt für MCS-fähige Batterie-Lkw angekündigt. Andere Hersteller wollen MCS-Lade-Inlets erst ab 2026 bzw. ab 2027 verbauen. Einzelne Hersteller wollen die fahrzeugseitige Ladeleistung sukzessive von zunächst bis zu 750 kW auf Ladeleistungen von 1.000 kW und mehr in den Folgejahren erweitern. Denkbar wären für sie auch Ladeleistungen von bis zu 1.500 kW. Andere Hersteller halten Ladeleistungen von über 1.000 kW zwar für technologisch möglich, aber die dazu notwendige Dicke und das Gewicht des Ladekabels für unhandlich und nicht praktikabel. Da das MCS-Laden auch für geringere Ladeleistungen genutzt werden kann, prognostizieren einzelne Hersteller, dass ab einem bestimmten Zeitpunkt ausschließlich auf MCS-Laden gesetzt werde. Es wird aber von einer langen Übergangszeit ausgegangen.

Das MCS-Lade-Inlet solle in den nächsten Jahren, so die Mehrzahl der Hersteller, in Lkw verbaut werden, die Kundinnen und Kunden im Fernverkehr einsetzen. Ein sinnvolles Nutzen für das MCS-Laden im Regionalverkehr wäre aber auch bei Batterie-Lkw denkbar, die im Dreischichtbetrieb eingesetzt werden. Ansonsten würden bei Fahrzeugen, die im Regional- und Verteilerverkehr eingesetzt werden, standardmäßig CCS- („Combined Charging System“) Lade-Inlets verbaut. Denn beim Laden am Depot werde der etablierte CCS-Ladestandard wegen der Kosten und der geringeren Komplexität auch zukünftig der Standard sein. Die maximale fahrzeugseitige Ladeleistung beim CCS-Laden sehen die Hersteller zwischen 350 kW und 400 kW. Für das Depotladen, insbesondere das Laden über Nacht, würden in vielen Anwendungsfällen auch zweistelrige Ladeleistungen ausreichen. Einzelne Nutzfahrzeughersteller sehen auch Anwendungsfälle, in denen das Normalladen mit einer AC-Ladeeinrichtung genüge.

BATTERIE-LKW FÜR DEN REGIONAL- UND VERTEILERVERKEHR WERDEN WEITER NACH CCS-STANDARD LADEN.

Die meisten Hersteller wollen weiterhin bei jedem verkauften Lkw ein CCS-Lade-Inlet verbauen, auch wenn die Fahrzeuge im Fernverkehr eingesetzt werden. Denn CCS wird aus Kompatibilitätsgründen langfristig eine Rolle spielen und auch Fernverkehr-Lkw werden besonders im Depot, aber auch an öffentlichen Ladepunkten den CCS-Ladestandard nutzen wollen. Ein kleiner Teil der Hersteller will zukünftig standardmäßig MCS-Lade-Inlets in seinen Fahrzeugen verbauen und ein CCS-Lade-Inlet nur dann, wenn der Kunde es will.

Hinsichtlich der Platzierung der MCS-Lade-Inlets am Fahrzeug ist die Empfehlung, dass diese an der linken Fahrzeugseite verbaut werden.⁴ Im Gegensatz dazu fehlt eine solche Einigung der Hersteller auf eine konkrete Fahrzeugseite für das CCS-Lade-Inlet. Bei den meisten Batterie-Lkw befindet sich das CCS-Lade-Inlet an der rechten oder linken Seite der Fahrerkabine. Fast alle Hersteller bieten inzwischen auf Kundenwunsch die Möglichkeit an, das Lade-Inlet auch hinten am Fahrzeug zu verbauen.

[4] Vgl. www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/c708ba3361-1670238823/whitpaper_megawatt_charging_system_1.0.pdf

KUNDINNEN UND KUNDEN WOLLEN IHRE FAHRZEUGE FLEXIBEL EINSETZEN UND TENDIEREN ZU GROSSEN BATTERIEKAPAZITÄTEN UND DEM VERBAU VON BEIDEN ARTEN VON LADE-INLETS.

Bei der Batterie handelt es sich um den kostenintensivsten und auch schwersten Teil des batterieelektrischen Lkw. Vor diesem Hintergrund will der überwiegende Teil der befragten Nutzfahrzeughersteller auch zukünftig eine modulare und skalierbare Anzahl von Batteriepaketen in seinen Fahrzeugen anbieten. Kundinnen und Kunden könnten so die für ihren Anwendungsfall optimale bzw. ausreichende Batteriekapazität wählen und somit Kosten sparen sowie die verfügbare Nutzlast erhöhen. Die Hersteller sehen trotz der dabei anfallenden Mehrkosten eine Tendenz zur Wahl einer größeren Zahl von Batteriepaketen bei ihrer Kundschaft. Transport-, Speditions- und Logistikunternehmen wollen sich, so die Interpretation der Hersteller, aufgrund der Unsicherheit über die mögliche zukünftige Auftragslage, der wechselnden Kundenanforderungen und auch der noch fehlenden öffentlichen Ladeinfrastruktur Flexibilität bei den Einsatzmöglichkeiten ihrer Fahrzeuge bewahren. Die Vermutung der Hersteller ist, dass es in Bezug auf die beiden Ladestandards und den Verbau der Lade-Inlets eine ähnliche Tendenz gibt. Wenn Kundinnen und Kunden vor die Wahl gestellt werden, würden sie „auf Nummer sicher gehen“ und sowohl ein CCS- als auch ein MCS-Lade-Inlet in ihre Fahrzeuge verbauen lassen.



VORGABEN DER AFIR SEIEN LAUT HERSTELLERN DAS ABSOLUTE MINIMUM IN BEZUG AUF GESCHWINDIGKEIT UND UMFANG DES AUSBAUS DER LKW-LADEINFRASTRUKTUR.

Mit der Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) werden den EU-Mitgliedsländern u. a. Mindestziele für die Errichtung von Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge vorgegeben. Die Ziele können durch öffentliche oder auch private Investitionen erfüllt werden. Die Nutzfahrzeughersteller sind skeptisch, ob die Mindestvorgaben der EU für den notwendigen Markthochlauf von klimafreundlichen Nutzfahrzeugen ausreichend sein werden. Während die von der AFIR geforderten Abstände von 60 km für Ladeparks an den transeuropäischen Verkehrsnetzen als passend angesehen werden, wird befürchtet, dass die geforderte Zahl von Ladepunkten an den Standorten schon ab 2030 nicht ausreichen und den Markthochlauf ausbremsen werde. Zudem wird kritisiert, dass die AFIR aktuell keine Vorgaben für MCS-Ladeinfrastruktur mache.

Bei den Forderungen nach einem Ladenetz orientieren sich die befragten Hersteller an den aktuellen Berechnungen des europäischen Fahrzeugherstellerverbandes ACEA.⁵ Nach der Novellierung der europäischen CO₂-Flottenzielwerte fordert der Verband aktuell den EU-weiten Aufbau von mindestens 50.000 öffentlichen Ladepunkten für schwere Nutzfahrzeuge bis 2030.

Darunter sollen ungefähr 35.000 öffentliche MSC-Ladepunkte sein. Für Deutschland, dem eine Vorreiterrolle von den Herstellern bei Ladeinfrastrukturaufbau zugedacht wird, würde das bis 2030 den Aufbau von 10.000 öffentlichen MCS-Ladepunkten bedeuten.

EIN GROSSTEIL DER LADEVORGÄNGE WIRD AUCH ZUKÜNFTIG AN NICHT-ÖFFENTLICHER LADEINFRASTRUKTUR IM DEPOT STATTFINDEN.

In Bezug auf das Verhältnis von Depotladen zu öffentlichem Laden haben die Nutzfahrzeughersteller noch kein klares Bild, wie sich dieses in der Praxis zukünftig entwickeln wird. Für die nächsten Jahre wird über alle Anwendungsfälle gesehen zunächst weiterhin von einem Verhältnis von 80 Prozent Depotladen zu 20 Prozent öffentlichem Laden ausgegangen. Die Hersteller gehen mit Blick in die Zukunft davon aus, dass auch 2030 im Verteiler- und Regionalverkehr nahezu 100 Prozent der Fahrzeuge an Depots geladen werden. Mit zunehmender Verfügbarkeit der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur erhöht sich der Anteil des öffentlichen Ladens. Das Laden am Depot werde nach Schätzungen der Hersteller im Regionalverkehr aber weiterhin bis zu 70 Prozent der aufgenommenen Energie ausmachen. Auch für den Fernverkehr gehen sie davon aus, dass das Depotladen zukünftig einen Anteil von 50 Prozent oder mehr haben werde.

Als Grund für die zentrale Bedeutung des Depotladens geben die Hersteller an, dass das Laden am Depot kostengünstiger und planbarer sei als das öffentliche Laden. Der Strompreis könne mit dem lokalen Energieversorger eigenständig ausgehandelt werden und sei bekannt. Zudem könne auf selbsterzeugten Strom aus erneuerbaren Quellen zurückgegriffen werden. Beim öffentlichen Laden sei man auf die Preisvorgaben der Ladesäulenbetreiber angewiesen.

[5] Vgl. www.futuredriven.eu/wp-content/uploads/2024/04/ACEA_Trucks-and-Buses-Manifesto.pdf



**NUTZFAHRZEUGHERSTELLER
UNTERSTÜTZEN IHRE KUND-
SCHAFT BEIM UMSTIEG MIT
EINEM GESAMTPAKET AUS
BATTERIE-LKW UND LADEINFRA-
STRUKTURLÖSUNGEN.**

Der Umstieg vom bekannten Diesel-Lkw auf den innovativen batterieelektrischen Lkw ist für die Logistikbranche eine große Herausforderung. Ladeinfrastruktur und die damit verbundenen Energiethemen gehören für die wenigsten Logistiker zum Kerngeschäft. Vor dem Hintergrund der drängenden Anforderungen durch die Vorgaben der europäischen CO₂-Flottenzielwerte (vgl. Kapitel 1) und des bestehenden Unterstützungsbedarfs bei ihren Kundinnen und Kunden weiten aktuell viele Nutzfahrzeughersteller ihr Beratungs- und Unterstützungsangebot aus. Der Verkauf der Fahrzeuge wird ergänzt durch ein mehr oder weniger umfassendes Angebot an Ladeinfrastrukturlösungen.

Neben einem großen Beratungsangebot (etwa zu Standortplanung, Beantragung des Netzanschlusses, Projektmanagement, Aufbau der Hardware, Finanzierung etc.) haben viele Nutzfahrzeughersteller im Bereich Depotladeinfrastruktur Dienstleistungen von Ladesäulenherstellern und

Infrastrukturanbietern ins Portfolio aufgenommen, mit denen sie Kooperationen eingegangen sind. Einzelne Nutzfahrzeughersteller haben neue Geschäftsbereiche gegründet und bieten ihren Kundinnen und Kunden inzwischen auch schlüsselfertige Lösungen im Bereich Ladeinfrastruktur an, die zum Teil sogar Batteriespeicher für die Nutzung von eigenerzeugtem Strom aus Photovoltaikanlagen umfassen.

Auch im Bereich öffentliche Ladeinfrastruktur engagieren sich die Hersteller: Neben den Joint Ventures mehrerer Hersteller zum Aufbau öffentlicher Ladeinfrastruktur in Europa planen einzelne Hersteller, an ihren Niederlassungen und Servicecentern öffentliche Ladeinfrastruktur aufzubauen und von kooperierenden Ladesäulenbetreibern bewirtschaften zu lassen. Darüber hinaus wird von einzelnen Herstellern eine Roaming-Plattform für Partnerschaften mit verschiedenen Ladesäulenbetreibern in Europa aufgebaut. Kundinnen und Kunden können so mit Hilfe einer Ladekarte zu festen Preisen in dem entstehenden Netzwerk ihre Batterie-Lkw laden.

Wasserstoffantriebe und Wasserstoffbetankungsinfrastruktur

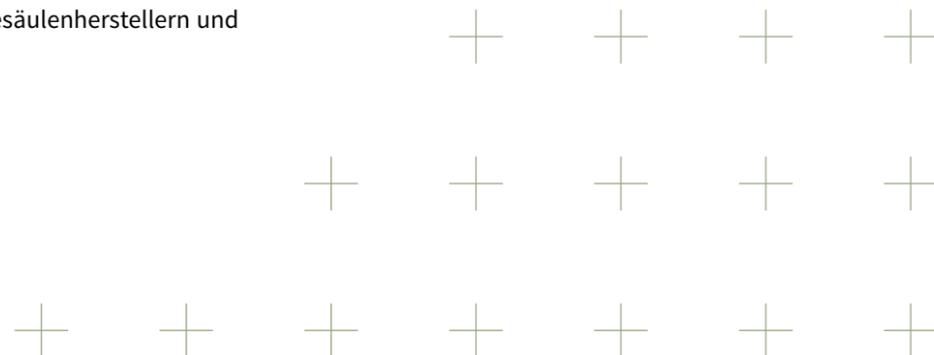
Mit der Ausdifferenzierung der Antriebsstrategien gewinnt das Thema Wasserstoff durch die zusätzliche Nutzung des Kraftstoffs im Verbrennungsmotor bei den Absatzplanungen der Hersteller an Bedeutung (vgl. Kapitel 1). Während momentan einzelne Kleinserien von Brennstoffzellen-Lkw und Wasserstoffverbrennern schon verfügbar sind, sieht die Mehrheit der Hersteller die Großserienreife mit hohen Stückzahlen von Wasserstoff-Lkw erst zum Ende dieses Jahrzehnts. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus den Cleanroom-Gesprächen 2022 haben sich die Prognosen zeitlich nach hinten verlagert. Dies zeigt sich auch bei den prognostizierten Absatzzahlen (vgl. Abbildung 1 und 2). Ein signifikanter Anstieg bei den abgesetzten Brennstoffzellen-Lkw und Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotoren beginnt erst in den Jahren 2027/2028, um dann zum Ende des Jahrzehnts relativ steil anzusteigen.

Die Vielfalt der von den Herstellern verfolgten Speicheroptionen für Wasserstoff wird weiterhin als Herausforderung für den Infrastrukturaufbau thematisiert. Je nach Hersteller soll der Wasserstoff an Bord des Nutzfahrzeugs mit 350 bar, 700 bar oder flüssig (sLH₂) gespeichert werden.

Die Argumente, die die jeweiligen Hersteller für die von ihnen gewählte Speicheroption als Vorteile benennen, haben sich in den letzten zwei Jahren im Wesentlichen nicht geändert. Für 350 bar sprächen die geringeren Kosten und der niedrigere Energiebedarf bei der Wasserstoffbereitstellung. Eine höhere Druckstufe sei mit einem höheren Energieaufwand verbunden und damit mit einem höheren Wasserstoffpreis an der Tankstelle. Für sLH₂ ist die Lieferkette technologisch noch nicht ausgereift und Prozessstufen, wie etwa die Verflüssigung, sind noch sehr teuer.

Die Langstreckentauglichkeit und die Flexibilität sind hingegen wesentliche Argumente der Hersteller, die auf 700 bar und sLH₂ setzen. Hier liege aus ihrer Sicht die eigentliche Stärke der Wasserstoff-Lkw, gerade im Vergleich zum Batterie-Lkw. Tiefkalter Flüssigwasserstoff verspreche eine noch höhere Reichweite bei den Brennstoffzellen-Lkw. Argumentiert wird hier ebenfalls mit der Wasserstoffanlieferung an die Tankstellen, da Wasserstoff in hoher volumetrischer Dichte geliefert werden könne. Dass bei Flüssigwasserstoff bei längeren Standzeiten der Fahrzeuge Abdampfverluste nicht zu vermeiden sein werden, ist den Herstellern bewusst.

**AUS DER VIELFALT AN WASSERSTOFF-
SPEICHERTECHNOLOGIEN KRISTALLISIEREN
SICH 700 BAR ALS MÖGLICHER GEMEINSAMER
NENNER BEI DEN HERSTELLERN FÜR WASSER-
STOFF-LKW IM FERNVERKEHR HERAUS.**



Die diesjährigen Cleanroom-Gespräche vermitteln insgesamt den Eindruck, dass 700 bar von den Herstellern als gemeinsame Speicheroption angesehen werden könnten. Das 700-bar-System wird unter Kosten- und Nutzensichtspunkten als sinnvollste Option gesehen und zudem besteht mit einem 700-bar-Tank die Möglichkeit, die vorhandene 350-bar-Lkw-Wasserstofftankstelleninfrastruktur zu nutzen. Darüber hinaus vermitteln die aktuellen Gespräche den Eindruck, dass es eine größere Offenheit bei den Herstellern dafür gibt, bei Bedarf auch andere Wasserstoffspeicherlösungen als die bisher präferierte Option nutzen zu wollen, wenn diese sich als Standardlösungen beim Aufbau der Wasserstoffbetankungsinfrastruktur durchsetzen sollten.

Mit der kryokomprimierten Speicherung (CCH₂) gibt es schließlich eine Speicheroption, die aktuell noch keine praktische Rolle spielt. Während einzelne Hersteller hier perspektivisch das größte Potenzial für den Einsatz im langstreckentauglichen Lkw sehen, ist dies für andere keine Option. Begründet wird dies neben den hohen Kosten für die Lagerung und die Tankstelleninfrastruktur auch damit, dass CCH₂ in der AFIR nicht berücksichtigt wird.

DER ENTWICKLUNGSBEDARF BEI DER BRENNSTOFFZELLE IST NOCH HOCH. HOFFNUNGEN RUHEN AUF EINER NEUEN BRENNSTOFFZELLEN-GENERATION.

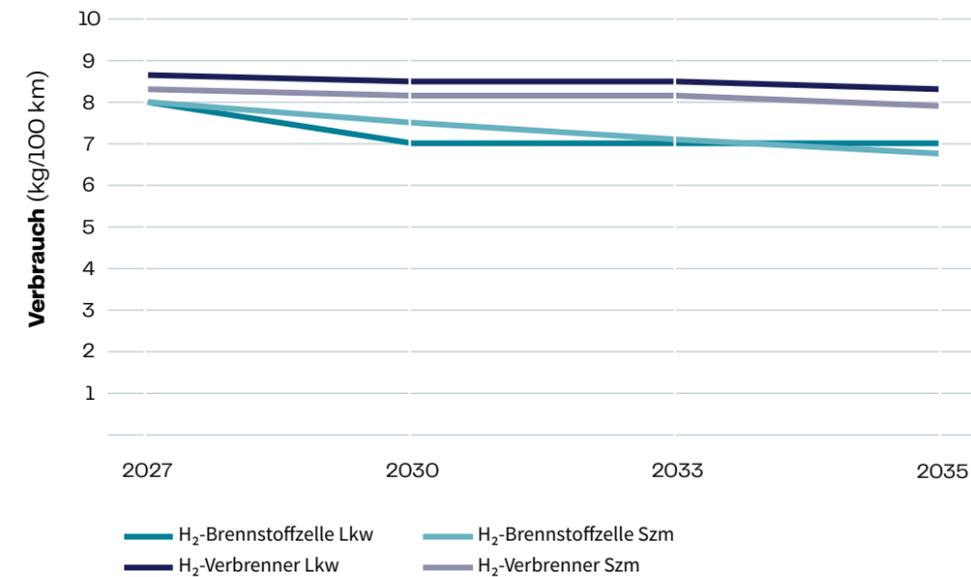
Gegen die Erwartung, die in den letzten Cleanroom-Gesprächen von den europäischen Herstellern geäußert wurde, scheint sich die Technologie- und Marktreife der Brennstoffzelle für den Einsatz im Lkw bis zum Ende des Jahrzehnts zu verzögern. Es fehle der Brennstoffzelle an Robustheit und Standfestigkeit für den anspruchsvollen Einsatz im Lkw, insbesondere hätte man den seriellen Standard für den Einsatz im Fernverkehr noch nicht erreicht. Entwicklungsbedarf gäbe es auch in Bezug auf die Kosten, den Systemwirkungsgrad, die Kühlung sowie die Lebensdauer. So könne man auch für die heute schon vorhandenen Serienfahrzeuge, die im Regionalverkehr eingesetzt werden, nicht die Laufzeiten eines Batterie-Lkw garantieren, was aktuell von manchen Herstellern durch einen planmäßigen Wechsel der Brennstoffzelle nach einer bestimmten Fahrleistung kompensiert wird.

Die Hersteller, für die Brennstoffzellen-Lkw eine zentrale Rolle in ihrer Antriebsstrategie spielen, setzen ihre Hoffnung auf eine effizientere und kostengünstigere neue Generation von Brennstoffzellen, an der zurzeit gearbeitet wird. Verbesserungen bei der Energiedichte, der Leistung, der Kompaktheit und besonders bei den Kosten sollen dazu führen, dass sich in Zukunft die Fahrzeugpreise von Batterie- und Brennstoffzellen-Lkw annähern werden.



Abbildung 6

Mittlere Verbrauchsentwicklung schwerer wasserstoffbetriebener Nutzfahrzeuge (> 12 t)



Quelle: Angaben der beteiligten Nutzfahrzeughersteller. Eigene Darstellung.

LKW MIT WASSERSTOFFVERBRENNUNGSMOTOREN: KOSTENGÜNSTIGER IN DER ANSCHAFFUNG, ABER MIT EFFIZIENZNACHTEILEN GEGENÜBER DEM BRENNSTOFFZELLEN-LKW.

Mit der Anerkennung als emissionsfreier Antrieb im Rahmen der Novellierung der europäischen CO₂-Flottenziele im Frühjahr 2024 haben fast alle Hersteller den Wasserstoffverbrenner in ihre Antriebsstrategie aufgenommen. Im Einsatz von Wasserstoff in einem modifizierten Verbrennungsmotor sehen die Hersteller eine Möglichkeit, relativ kostengünstig Klimaschutzvorgaben zu erreichen. Mit dem Verbrennungsmotor kann auf eine bewährte und reife Technologie zurückgegriffen werden. Neben der vorhandenen Erfahrung werden Vorteile in der Robustheit des Wasserstoffverbrennungsmotors, dem möglichen Rückgriff

auf vorhandene Werkstätten bei der Wartung sowie der hohen Kundenakzeptanz gesehen. Darüber hinaus muss der Reinheitsgrad des Wasserstoffs nicht die hohen Anforderungen des Einsatzes in der Brennstoffzelle erfüllen.

Die wesentliche Herausforderung bei der Modifizierung eines konventionellen Lkw-Diesel-Verbrennungsmotors für die Nutzung mit Wasserstoff liegt hauptsächlich in der Anpassung des Einspritzsystems

und der Entwicklung des entsprechenden Brennverfahrens. Aktuelle Entwicklungen nutzen sowohl die Saugrohr- als auch die Niederdruck-Direkteinspritzung (im Englischen „Low Pressure Direct Injection“, LPDI) gemäß dem ottomotorischen Prinzip – fremdgezündet mittels Zündkerze. Beide Verfahren befinden sich in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium und können erste Erfahrungen auf der Straße vorweisen. Nachteile ergeben sich jedoch hinsichtlich des Wirkungsgrades, weswegen aktuell ebenfalls Entwicklungen an der Hochdruck-Direkteinspritzung (im Englischen „High Pressure Direct Injection“, HPDI) gemäß dem dieselmotorischen Prinzip – Selbstzündung, ggf. mit Piloteinspritzung – erfolgen. Die Entwicklung und die Produktion der für die Modifizierung notwendigen und für den Wasserstoffbetrieb optimierten Komponenten erfolgen, wie beim konventionellen Verbrennungsmotor, mit Hilfe von Zulieferunternehmen.

Auch einem hinsichtlich des Wirkungsgrads optimierten Wasserstoffverbrennungsmotor sind thermodynamische Grenzen gesetzt, weswegen dieser auch zukünftig Effizienz Nachteile gegenüber dem Einsatz von Wasserstoff in der Brennstoffzelle haben wird (vgl. Abbildung 6). Laut Herstellerangaben verbrauche ein Lkw mit Wasserstoffverbrennungsmotor im Durchschnitt 2 kg Wasserstoff pro 100 km mehr

als ein Brennstoffzellen-Lkw. Im Vergleich bedeutet dies, dass der Wasserstoffverbrenner wegen des deutlich niedrigeren Anschaffungspreises bis zu einer gewissen Schwelle bei der Laufleistung der wirtschaftlichere Wasserstoffantrieb wäre. Bei für den Fernverkehr üblichen Jahresfahrleistungen wäre es aber der Brennstoffzellen-Lkw.

Die Verantwortung für den Aufbau von Wasserstofftankstellen sehen die Hersteller, für die Wasserstoff ein wesentlicher Baustein ihrer Antriebsstrategie ist, bei der Politik. Man investiere Milliarden in die Fahrzeugentwicklung, entsprechend müsse der Staat, so die Erwartung, in den Infrastrukturaufbau investieren. Es gehe um ein klares Signal an die Industrie und ihre Kundschaft, dass die Politik den Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor für relevant hält. Ein Wunsch ist auch, dass der Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur zeitnah erfolgen sollte.

Die europäische AFIR gibt vor, dass bis Ende 2030 entlang der transeuropäischen Verkehrsnetze alle 200 km eine Wasserstofftankstelle errichtet werden muss und zusätzliche Tankstellen an städtischen und multimodalen Knotenpunkten entstehen. Für viele der befragten Hersteller sind die Vorgaben der AFIR zunächst einmal ausreichend. Laut einem Hersteller würden diese Werte für

HERSTELLER SEHEN STAAT IN DER PFLICHT, DEN AUFBAU VON WASSERSTOFFTANKSTELLEN ZEITNAH VORANZUTREIBEN.

DAS EIGENE ENGAGEMENT DER HERSTELLER IM BEREICH WASSERSTOFFBETANKUNGSINFRASTRUKTUR IST AKTUELL NOCH BEGRENZT.

die Versorgung von 10.000 bis 15.000 Wasserstoff-Lkw reichen, was ein guter Ausgangspunkt für den weiteren Markthochlauf nach 2030 wäre. Wichtig sei, dass die Kapazitäten und die Systemauslegung (u. a. Kompressoren) der Wasserstofftankstellen der bestehenden Nachfrage entsprächen und genug Wasserstoff vorgehalten werde. Zudem müssten Redundanzen existieren, damit die Versorgung der Fahrzeuge sichergestellt sei. Ein anderer Teil der Hersteller hält die AFIR-Vorgaben für nicht ausreichend und wünscht sich ambitioniertere Ausbauziele.

Im Gegensatz zu den Aktivitäten, die die Hersteller bei der Lkw-Ladeinfrastruktur zur Unterstützung ihrer Kundinnen und Kunden entwickeln, werden nur wenige Aktivitäten beim Thema Wasserstoffinfrastruktur in den Gesprächen genannt. Am konkretesten ist das Engagement bei den Herstellern, die sich am Infrastrukturbetreiber H2 MOBILITY in Deutschland beteiligen oder Teil der europäischen Kooperation H2Accelerate von Fahrzeugherstellern und Infrastrukturanbietern sind.



4 Ausblick



Dynamische Marktentwicklung und ambitionierte Klimaschutzziele

Bis zum Jahr 2030 soll im schweren Straßengüterverkehr etwa ein Drittel der Fahrleistung elektrisch erbracht werden. Für die Erreichung dieses Ziels ist die Transformation der Fahrzeug-, der Infrastruktur- und insbesondere der Logistikbranche in einer erheblichen Geschwindigkeit notwendig. Die vorliegende Auswertung der diesjährigen Gespräche bestätigt das zentrale Ergebnis der letzten Cleanroom-Gespräche von 2022: Der Markthochlauf klimafreundlicher Nutzfahrzeuge wird laut den prognostizierten Absatzzahlen der Nutzfahrzeughersteller bis zum Ende dieses Jahrzehnts mit hoher Geschwindigkeit erfolgen. Es sind insbesondere die großen Fortschritte bei der Reife und Robustheit der Batterietechnologie, die den schnellen Wandel möglich machen. Das Angebot an Fahrzeugmodellen mit klimafreundlichen Antrieben bei den schweren Nutzfahrzeugen wird weiter rapide wachsen. Für das Erreichen der ambitionierten Klimaschutzziele braucht es neben dem prognostizierten Fahrzeughochlauf ein überzeugendes Beratungs- und Unterstützungsangebot für Anwenderinnen und Anwender, förderliche regulatorische Rahmenbedingungen und einen schnellen Infrastrukturaufbau.

Ergebnisnutzung

Mit der im September 2024 veröffentlichten Ausschreibung eines Lkw-Schnellladenetzes entlang der Bundesautobahnen schafft das BMDV gemeinsam mit der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur und der Autobahn GmbH des Bundes die Voraussetzung für den Einsatz von Batterie-Lkw auf der Fernstrecke. Die Bedarfsanalyse für die Ausbauplanung und die Ausschreibung des Lkw-Schnellladenetzes beruht auf den Ergebnissen der Cleanroom-Gespräche des Jahres 2022. Die aktuellen Gespräche bestätigen die zentrale Rolle des batterieelektrischen Antriebes beim Markthochlauf klimafreundlicher Nutzfahrzeuge. Die neuen Ergebnisse fließen in zukünftige Bedarfsanalysen zum Lkw-Schnellladnetz ein. Die Ergebnisse sind ebenfalls wichtige Kennzahlen für die im Masterplan Ladeinfrastruktur II angelegten und vom BMDV beabsichtigten Finanzierungs- und Fördermaßnahmen für Lkw-Ladeinfrastruktur auf Betriebsgeländen, Umschlagplätzen und in Gewerbegebieten. Die Auswertung der Cleanroom-Gespräche fließt außerdem in eine aktuell in Arbeit befindliche Wasserstoffbedarfsplanung des N3-Segments für 2030 und darüber hinaus ein. Diese ist Grundlage für die Planung eines flächendeckenden Grundnetzes an Wasserstofftankstellen für Nutzfahrzeuge in Deutschland.

Der vom BMDV in den letzten Jahren schon geschaffene zielgerichtete regulatorische Rahmen kann auf Grundlage der Ergebnisse der Cleanroom-Gespräche ergänzt werden. Besonders die Anpassung bestehender Regulierungen kann den Markthochlauf alternativer, klimafreundlicher Antriebe weiter unterstützen.

Regelmäßige Gespräche mit Herstellern

Für die Transformation des Straßengüterverkehrs hin zu klimafreundlichen Antrieben braucht es das gemeinsame und koordinierte Handeln aller beteiligten Akteure. In diesem Sinne begrüßen alle an den Gesprächen beteiligten Hersteller den Dialog. Neben dem Dialog ermöglichen die Ergebnisse der Cleanroom-Gespräche die Bereitstellung von grundlegenden Informationen für andere Stakeholder des Transformationsprozesses. Die in diesem Bericht dokumentierten Ergebnisse sind hilfreich, nicht nur für die Politik, sondern auch für die Energiewirtschaft, für Innfrastrukturbetreiber sowie Anwenderinnen und Anwender. In diesem Sinne wird die Beteiligung der Nutzfahrzeughersteller an den Cleanroom-Gesprächen vom BMDV begrüßt und als wertvoll wahrgenommen. Vor dem Hintergrund der Dynamik des Markthochlaufes, der fortschreitenden technologischen Entwicklung und der sich verändernden Rahmenbedingungen beabsichtigt das BMDV, in zwei Jahren erneut Cleanroom-Gespräche mit den Nutzfahrzeugherstellern zu führen.



