

Information 104

> ALTERNATIVE ANTRIEBE

in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

DIE ZUKUNFT IST JETZT.

H2-NUTZFAHRZEUGE FÜR EINEN KLIMANEUTRALEN LASTVERKEHR



[HTTPS://BLUEPOWER.FAUN.COM](https://bluepower.faun.com)



FAUN
KIRCHHOFF GRUPPE

› INHALT

Vorwort	5
01 Einleitung	6
02 Politischer Kontext	8
03 Technische Übersicht über alternative Antriebe	14
Teil 1: Batterieelektrische Antriebe	14
Teil 2: Elektrischer Antrieb auf Wasserstoffbasis	21
Teil 3: Hybridantriebe	27
Teil 4: Gasbetriebene Antriebe – Erdgas (CNG/LNG) als Kraftstoff bei Ottomotoren	28
Teil 5: Referenz – Mineraldiesel als Kraftstoff	33
Schlussfolgerungen und Ausblick	35
04 Anhang	38



Fotograf: Andreas Essig



„Unser Ziel sind saubere und lebenswerte Städte und Regionen.“

*Steffen Bilger
Parlamentarischer Staatssekretär beim Bundesminister
für Verkehr und digitale Infrastruktur*

Vorwort



Der Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben und alternativen Kraftstoffen ist ein zentraler Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen des Verkehrs und somit zur Erreichung der Klimaziele auf europäischer und nationaler Ebene. Gemäß dem Klimaschutzprogramm der Bundesregierung soll 2030 ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch oder mit strombasierten Kraftstoffen erfolgen. Neben den Treibhausgasemissionen sind auch die Luftschadstoffe des Straßenverkehrs, vor allem Feinstaub und Stickoxide zu verringern. Unser Ziel sind saubere und lebenswerte Städte und Regionen.

Ein wesentlicher Schritt in diese Richtung ist mit der so genannten Clean Vehicles Directive gemacht worden, welche durch das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge in Deutschland umgesetzt wurde. Durch dieses Gesetz werden bei der öffentlichen Auftragsvergabe erstmals verbindliche Mindestziele für die Beschaffung emissionsarmer und -freier – sprich sauberer – PKW sowie leichter und schwerer Nutzfahrzeuge, darunter Busse im ÖPNV, vorgegeben. Die Vorgaben gelten ab dem 2. August 2021. Ebenso ist bei der Vergabe bestimmter Verkehrsdienstleistungen – darunter auch die Abfallsammlung – darauf zu achten, dass der Auftragnehmer eine Mindestanzahl sauberer Fahrzeuge für die Erfüllung des Auftrags einsetzt. Ausnahmeregelungen sieht das Gesetz unter anderem für spezielle Fahrzeugarten vor, die nicht zur Güter- oder Personenbeförderung geeignet sind, konstruiert oder gebaut wurden, wie z. B. für die Straßeninstandhaltung.

Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) begrüßt, dass der Verband kommunaler Unternehmen (VKU) sich intensiv mit sauberen Antrieben beschäftigt. Viele kommunale Unternehmen sind Vorreiter bei alternativen Antrieben. Die vorliegende Broschüre mit entsprechenden Erfahrungsberichten soll den kommunalen Unternehmen der Abfallwirtschaft eine Hilfestellung geben, um mit der Herausforderung klimafreundlicher Antriebe in der Praxis besser umgehen zu können und ihren Beitrag zu einer klimafreundlichen Mobilität in Deutschland zu leisten. Die kommunalen Unternehmen können bei diesem Thema voran gehen und durch ihre Beschaffungen zu einem Markthochlauf der Nutzfahrzeuge mit sauberen Antrieben beitragen. Das BMVI unterstützt die Umstellung auf alternative Antriebe im kommunalen Bereich seit vielen Jahren und hat dazu in 2015 eine Förderrichtlinie Elektromobilität, mit kommunalem Fokus, aufgelegt. Einen solchen Schwerpunkt zeigen auch zahlreiche Förderaufrufe im Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Zudem adressieren aktuelle und zeitnah geplante spezifische, technologie-neutrale Förderangebote für klimafreundliche Nutz- und Sonderfahrzeuge, für den ÖPNV und für den SPNV sowie zahlreiche kommunale Pilotprojekte eine Umstellung auf alternative Fahrzeuge im kommunalen Kontext. Begleitet werden diese Programme durch Fördermöglichkeiten zum Aufbau der notwendigen Infrastrukturen zur Energiebereitstellung.

Der schon bestehende Austausch zwischen BMVI und VKU zum Thema nachhaltige Mobilität soll fortgeführt und verstärkt werden. Hierbei werden das Erreichen der Mindestquoten des Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes und die Umstellung auf alternative Antriebe eine wichtige Rolle spielen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und freue mich, mit Ihnen gemeinsam den Weg zu einer nachhaltigen Mobilität weiter zu beschreiten.

Ihr

Steffen Bilger

01

EINLEITUNG

Die Entwicklung und der Einsatz von Fahrzeugen, die mit Antriebsstoffen jenseits von Benzin und Diesel betrieben werden, nimmt durch verschiedene gesellschaftliche und politische Entwicklungen stark an Fahrt auf. Sowohl die Luftbelastung mit Stickstoffdioxid und Feinstaub in vielen Städten als auch das Streben nach Klimaneutralität, das heißt die angestrebte Verringerung klimaschädlicher Emissionen, machen ein verstärktes Umsteigen von herkömmlichen Antriebstechniken auf neue, saubere Antriebe notwendig. Durch die gesamtstrategische Ausrichtung kommunaler Unternehmen in Richtung einer klimaneutralen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung mit ihren beträchtlichen Fuhrparks kommt diesen Unternehmen hierbei eine Treiber-Funktion zu. Insgesamt wird aber auch eine Verbesserung des urbanen Klimas erzielt, wenn eine Emissionsminderung bei kommunalen Fahrzeugen erreicht werden kann.

Der VKU hat im Jahr 2009 eine Digital-Info zum Thema „alternative Antriebe“ erstellt, die sich stark auf die technischen Details der Antriebe konzentrierte. In der Zwischenzeit haben sich Technologien zur Marktreife entwickelt, sodass verbindliche politische Vorgaben aus Brüssel zur öffentlichen Beschaffung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben in Form von Mindestquoten erlassen wurden, die im Juni 2021 in deutsches Recht überführt wurden. Daneben setzen europäische Vorgaben auch Grenzwerte unter anderem für CO₂-Emissionen, die etwa aufgrund des „Fit for 55“-Pakets der Europäischen Kommission nach und nach verschärft werden sollen. Durch den Druck aus der Politik und vonseiten der Anwender hat sich die technische Entwicklung massiv beschleunigt. Insofern wurde eine Aktualisierung und auch thematische Erweiterung der Infoschrift aus dem Jahr 2009 notwendig.

Zielsetzung der Infoschrift

Mit der vorliegenden Infoschrift werden nicht nur die technischen Informationen der bestehenden Infoschrift aktualisiert und erweitert, sondern darüber hinaus der derzeitige Sachstand der Nutzung von alternativen Antrieben in der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung aufgezeigt. Zudem werden Erfahrungen der Unternehmen mit der Erprobung beziehungsweise dem laufenden Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben in der Abfallwirtschaft und Straßenreinigung vorgestellt. Der Schwerpunkt wird hierbei auf schwere Nutzfahrzeuge gelegt. Des Weiteren wird das Thema der Marktverfügbarkeit von Fahrzeugen, die mit alternativen Antrieben betrieben werden und für die vielfältigen Aufgaben der Abfallsammlung, des Abfalltransports und der Straßenreinigung bzw. des Winterdiensts geeignet sind, anhand aktueller Erfahrungswerte dem Leser nähergebracht. Denn: durch den Einsatz von neuartigen, „sauberen“ Fahrzeugen darf die Qualität der Erledigung der Aufgaben durch die kommunalen Abfallwirtschafts- und Reinigungsbetriebe nicht leiden. Außerdem dürfen die Kosten, die mit dem Einsatz dieser Fahrzeuge verbunden sind, nicht unverhältnismäßig zu den Kosten für herkömmliche diesel- oder benzinbetriebene Fahrzeuge sein und damit den Service bzw. die Leistung zwangsläufig verteuern.

Die Infoschrift gibt somit einen aktuellen Überblick über den Status quo des Einsatzes von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, die aktuell in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung verwendet werden, und identifiziert Probleme und Defizite, die einen erfolgreichen großflächigen Einsatz dieser Fahrzeuge in den genannten Bereichen derzeit noch hemmen. Im Zuge dessen

werden auch Forderungen an Politik und Hersteller formuliert, deren Erfüllung einen verstärkten Einsatz der Fahrzeuge im Bereich der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung befördern würde.

Die Erstellung der Infoschrift lag in der Verantwortung einer Arbeitsgruppe des Fachausschusses Fuhrpark des VKU, Sparte Abfallwirtschaft und Stadtsauberkeit. Somit wurde diese Infoschrift von Praktikern, die täglich mit dem Einsatz von Abfallsammel- bzw. Stadtreinigungsfahrzeugen zu tun haben, die Bedeutung von hoher Fahrzeugverfügbarkeit und wartungsfreundlichen Fahrzeugen kennen und auch das Marktgeschehen laufend beobachten, erstellt. Die Infoschrift ist an alle anderen Praktiker und interessierten Leser aus dem Bereich der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung gerichtet.

Gliederung der Infoschrift

Die Infoschrift gliedert sich folgendermaßen:

Kapitel 2 beleuchtet den aktuellen politischen Kontext, in dem sich die Verbreitung alternativer Antriebe vollzieht. Eine wichtige Rolle spielen hierbei die europäische und deutsche Gesetzgebung als Treiber dieser Entwicklung. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang auch der zivilgesellschaftliche Druck auf die Kommunen, etwa bei Überschreitung von Stickstoffdioxid- oder Feinstaubgrenzwerten in den jeweiligen Gebieten oder aufgrund des allgemeinen Handlungsdrucks vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen alternativen Antriebsformen und beschreibt all diese nach einem einheitlichen Schema. Zunächst werden die technischen Voraussetzungen und die Funktionsweise der alternativen Antriebstechniken erörtert. Ein besonderer Fokus wird hierbei auf neue technische Entwicklungen gelegt. Um die praktische Relevanz der jeweiligen Antriebstechnik spezifisch für die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung zu prüfen, werden aktuelle praktische Beispiele des Einsatzes der entsprechenden Fahrzeuge in den kommunalen Betrieben (Test-/Probetrieb und regulärer Betrieb) dargestellt und die aktuellen Erfahrungen zusammengefasst. Abschließend wird die derzeitige Verfügbarkeit von Fahrzeugen mit der entsprechenden Antriebstechnik, die für Aufgaben der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung einsetzbar sind, auf dem Markt dargestellt. Dieses Schema wird auf batterieelektrische Antriebe, Antriebe unter Nutzung von Brennstoffzellen, Gasantriebe und Hybridantriebe angewandt. Um einen Vergleichswert zur bisher überwiegenden Nutzung von Verbrennungsmotoren herzustellen, wird abschließend auch der Antrieb mittels Verbrennungsmotor mit den wichtigsten technischen Werten dargestellt.

Kapitel 4 fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus Kapitel 3 zusammen, insbesondere mit Blick auf die bisher in den kommunalen Betrieben gemachten Erfahrungen – das heißt den praktischen Einsatz der Fahrzeuge – und die Marktverfügbarkeit. Aus diesen Erkenntnissen werden die wesentlichen Forderungen abgeleitet, die der VKU an Hersteller, aber auch an die politischen Entscheidungsträger richtet, um die Verbreitung alternativer Antriebstechniken im Bereich der Abfallwirtschaft und der Stadtreinigung zu befördern und zu erleichtern. Des Weiteren wird ein Ausblick zur weiteren Verbreitung alternativer Antriebstechniken im abfallwirtschaftlichen Kontext gegeben.

02

POLITISCHER KONTEXT

EU-Präsidentin Ursula von der Leyen erklärte am 4. März 2020 in Brüssel anlässlich der Vorstellung des europäischen Klimagesetzes: „Heute beginnen wir, die EU bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent der Welt zu machen. Mit dem Klimagesetz verankern wir unser politisches Engagement nun auch rechtlich und schlagen unwiderruflich den Weg zu einer nachhaltigeren Zukunft ein. Das Klimagesetz ist das Herzstück des Grünen Deals der EU. Es bietet Planungssicherheit und Transparenz für Industrie und Investoren in Europa, und es gibt die Richtung für unsere grüne Wachstumsstrategie vor und gewährleistet, dass der Übergang schrittweise erfolgt und fair ist.“

Durch die europäischen Richtlinien und Verordnungen in Bezug auf das Erreichen der Klimaziele bis 2050 erlangen die Motive, alternative Antriebe zu fördern, einen neuen Stellenwert. Luftverschmutzung – insbesondere durch Stickoxide und Feinstaub – zu verringern sowie klimaneutrale Verhaltensweisen zu stärken sind Antriebsmotoren für die Fuhrparkverantwortlichen, den Fuhrpark entsprechend zu formen. Der Straßenverkehrssektor war im Jahr 2016 für etwa ein Viertel der Gesamtemissionen der Europäischen Union verantwortlich – seine Emissionen weisen steigende Tendenzen auf und liegen weiterhin deutlich über den Werten von 1990. Neben der Ökologie ist ein wesentlicher ökonomischer Grund für die Förderung alternativer Antriebe, die Abhängigkeit Deutschlands und Europas vom Erdöl und sonstigen fossilen, endlichen Kraftstoffen zu reduzieren.

Zwei wesentliche EU-Richtlinien sowie eine EU-Verordnung fördern derzeit den Umstieg von herkömmlichen Antrieben/Kraftstoffen, also Diesel und Benzin, zu alternativen Antrieben/Kraftstoffen: zum einen die EU-Clean Vehicles Directive (EU-Richtlinie 2019/1161), zum anderen die EU-Richtlinie über Luftqualität und

saubere Luft (Richtlinie 2008/50/EG). Jüngst wurden auch im Verordnungswege CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge auf EU-Ebene erlassen.

Mit Blick auf den Schwerpunkt dieser Infoschrift wird im Folgenden das Hauptaugenmerk bei den Ausführungen auf schwere Nutzfahrzeuge, das heißt Fahrzeuge der Klassen N2 und N3, somit Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen, gelegt.

Clean Vehicles Directive

Der Verkehrssektor ist eine wesentliche Quelle von Treibhausgasen: Etwa 20 % der anthropogenen Treibhausgase gehen auf den Verkehrsbereich zurück. Vor diesem Hintergrund wurde auf europäischer Ebene im Jahr 2009 die sogenannte Clean Vehicles Directive (Richtlinie zur Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge) geschaffen. Die Richtlinie wurde im Jahr 2019 novelliert, womit verbindliche Beschaffungsvorgaben für öffentliche Auftraggeber festgelegt wurden.

Die genannte EU-Richtlinie (im Folgenden entsprechend den englischen Initialen: CVD) ist ein wesentlicher rechtlicher Hebel zur Förderung der Verbreitung von Straßenfahrzeugen mit alternativen Antrieben. Die wesentliche Neuerung der Richtlinie ist, dass öffentliche Auftraggeber – darunter fallen auch die kommunalen Unternehmen der Abfallwirtschaft – verpflichtet werden, im Rahmen ihrer Beschaffung einen Mindestprozentsatz an „sauberen“ Fahrzeugen zu erwerben, wobei neben Kauf auch Leasing,

Fahrzeugklasse	Definition „sauberes Fahrzeug“		Beschaffungsquoten	
			1. Phase	2. Phase
			02.08.2021–21.12.2025 (DEU)	01.01.2026–31.12.2030 (DEU)
PKW	50 g CO ₂ /km, 80 % Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach RDE)	ab 2026: 0 g CO ₂ /km, k. A. zu Luftschadstoffemissionen	38,5 %	
leichte Nfz (< 3,5 t)			38,5 %	
LKW (> 3,5 t)	Nutzung alternativer Kraftstoffe (lt. Art 2 AFID bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Kraftstoffe**, Biokraftstoffe**)		10 %	15 %
Busse (> 5 t)			45 %*	65 %*

* Die Hälfte der beschafften Busse muss emissionsfrei sein, d. h. weniger als 1 g CO₂/km ausstoßen, z. B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge.

** Alternative Kraftstoffe dürfen nicht mit konventionellen, fossilen Kraftstoffen gemischt werden.

Anmietung oder Ratenkauf umfasst sind. Die Richtlinie erkennt auch die Nachrüstung von bestehenden Fahrzeugen in „saubere“ Fahrzeuge an. Aber nicht nur der direkte Kauf von Fahrzeugen fällt in den Geltungsbereich der Richtlinie, sondern auch die Beauftragung Dritter mit Dienstleistungen im Bereich bestimmter Verkehrsdienste, wozu ausdrücklich auch die Abholung von Siedlungsabfällen gehört. Auch hier sind die Mindestquoten für „saubere“ Fahrzeuge einzuhalten.

Die Richtlinie definiert zum einen, nach welchen Maßgaben ein Fahrzeug als „sauber“ und „emissionsfrei“ definiert werden kann. Des Weiteren enthält die Richtlinie verbindliche Vorgaben, wie groß der Anteil an „sauberen“ und emissionsfreien Fahrzeugen bei der Fahrzeugbeschaffung bzw. der Beauftragung bestimmter Verkehrsdienstleistungen im öffentlichen Bereich sein muss. Die Richtlinie ist durch das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz – SaubFahrzeugBeschG¹) in Deutschland umgesetzt worden. Die Definition „sauber“ fällt je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich aus.

Für Fahrzeuge der Klasse M₁, M₂ oder N₁ gilt gemäß § 2 Nr. 4 SaubFahrzeugBeschG, dass sie „sauber“ sind, wenn die Auspuffemissionen höchstens dem in Tabelle 2 des Anhangs angegebenen Wert in CO₂ g/km entsprechen und ihre Luftschadstoffemissionen im praktischen Fahrbetrieb unterhalb des in Tabelle 2 des Anhangs festgelegten Prozentsatzes der anwendbaren Emissionsgrenzwerte liegen (siehe die konkreten Grenzwerte in der Abbildung oben).

Für Fahrzeuge der Klasse M₃, N₂ oder N₃ gilt gemäß § 2 Nr. 5 SaubFahrzeugBeschG, dass sie sauber sind, wenn sie mit alternativen Kraftstoffen im Sinne von Art. 2 Nr. 1 und 2 der Richtlinie 2014/94 betrieben werden, soweit diese Kraftstoffe die Anforderungen der Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraft- und Brennstoffen in der jeweils geltenden Fassung erfüllen oder der DIN EN 15940 entsprechen – ausgenommen sind Kraftstoffe, die aus Rohstoffen mit einem hohen Risiko indirekter Landnutzungsänderungen erzeugt wurden, für die gemäß Art. 26 der RL 2018/2001 eine erhebliche Auswertung des Erzeugungsgebiets auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand zu verzeichnen ist. Bei Fahrzeugen, die mit flüssigen Biobrennstoffen oder synthetischen oder paraffinhaltigen Kraftstoffen betrieben werden, dürfen diese Kraftstoffe nicht mit konventionellen fossilen Brennstoffen vermischt werden. Damit sind als alternative Kraftstoffe anerkannt: Strom, Wasserstoff, Erdgas sowie synthetische Kraftstoffe und Biokraftstoffe.

¹ Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz vom 9. Juni 2021 (BGBl. I S. 1691).



„Uns Fuhrpark-Verantwortlichen bleibt kaum Spielraum bei der Umsetzung der neuen Anforderungen. Die mit den neuen Vorschriften einhergehende gesteigerte Nachfrage nach Fahrzeugen mit alternativer Antriebstechnologie wird der technischen Weiterentwicklung verstärkt Nachdruck verleihen. Wir in Hamburg finden das gut.“



Thomas Maas, Abteilungsleiter Technischer Service Stadtreinigung Hamburg, Vorsitzender des Fachausschusses Fuhrpark des VKU

Zu beachten ist, dass die zu erreichenden Quoten laut SaubFahrzeugBeschG vom einzelnen öffentlichen Auftraggebern zu erreichen sind. Damit müssen alle kommunalen Abfallwirtschafts- und Reinigungsunternehmen als „öffentliche Auftraggeber“ mit beträchtlichen Fuhrparkgrößen grundsätzlich die Quote erreichen, es sei denn, durch Landesgesetz ist anderes statuiert.

- Erste Periode (2. August 2021 bis 31. Dezember 2025): 10 % der neu zu beschaffenden Fahrzeuge der Klassen N2 und N3 sollen „saubere“ Fahrzeuge sein.
- Zweite Periode (1. Januar 2026 bis 31. Dezember 2030): 15 % der neu zu beschaffenden Fahrzeuge der Klassen N2 und N3 sollen „saubere“ Fahrzeuge sein.



Für einzelne Rechtsfragen zur Umsetzung der Richtlinie wird auf die jeweils aktuellen Veröffentlichungen des VKU verwiesen; **im Anhang zu dieser Infoschrift** ist das aktuelle Fragen-/Antwort-Dokument des VKU zur Umsetzung der CVD veröffentlicht.

Wie oben angemerkt, beziehen sich die Quoten nicht nur auf die direkte Beschaffung der Fahrzeuge, sondern auch auf bestimmte beauftragte Verkehrsdienstleistungen, wo Fahrzeuge zum Einsatz kommen, unter anderem die Abholung von Siedlungsabfall.

Anders als bei Bussen des ÖPNV wird für LKW nicht gefordert, dass ein Mindestanteil emissionsfrei sein muss. Die Quoten der zweiten Periode gelten über das Jahr 2030 hinaus, sofern keine neuen Quoten beschlossen werden.

Zu beachten ist, dass die von der Richtlinie vorgegebenen Quoten für Personenbeförderungsfahrzeuge und damit den öffentlichen Personennahverkehr deutlich höher angesetzt sind als für LKW. Damit ist der ÖPNV mit Blick auf den Einsatz „sauberer“ Fahrzeuge europaweit Vorreiter. Wie die Erreichung der Quoten für den Bereich der LKW zu geschehen hat, insbesondere welches Meldewesen eingeführt wird, ist auf nationaler Ebene zu klären.

Die kommunale Abfallwirtschaft und Straßenreinigung setzt vor allem Fahrzeuge der Klassen N2 und N3 ein. Damit sind hier die Quoten von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben der obenstehenden Aufzählung relevant.

In der CVD sind für Fahrzeuge der Klassen N2 und N3 Mindestquoten für zwei mehrjährige Perioden festgeschrieben worden, die je nach EU-Mitgliedsstaat differieren. Für Deutschland gelten folgende Vorgaben:

Luftreinhaltung: Grenzwerte für NO₂ und Feinstaub

Neben der Clean Vehicles Directive (CVD) fördert eine andere EU-Richtlinie den Umstieg auf saubere Fahrzeuge. Die Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa legt Grenzwerte für Stickstoffdioxid (NO₂), Stickoxide (NO_x) und Feinstaub in der Luft fest. Durch Zusammenfassung der bis dahin geltenden Rahmenrichtlinie Luftqualität und der 1. bis 3. Tochterrichtlinien sowie unter Anpassung an neueste wissenschaftliche Erkenntnisse im Gesundheitsbereich bildet diese Richtlinie seitdem einen gemeinschaftlichen Rahmen für die Kontrolle und Beurteilung der Luftqualität in Europa. Die Grenzwerte sind in Deutschland durch die 39. BImSchV in deutsches Recht umgesetzt worden. Neben den Immissionsgrenzwerten sind auch Alarmschwellen definiert,



bei deren Überschreitung bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die Gesundheit der Gesamtbevölkerung besteht und unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Folgende Grenzwerte gelten:

Stickstoffdioxid: Der über eine volle Stunde gemittelte Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid (NO₂) beträgt 200 Mikrogramm pro Kubikmeter bei 18 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr. Der über ein Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid (NO₂) beträgt 40 Mikrogramm pro Kubikmeter. Die Alarmschwelle für Stickstoffdioxid (NO₂) beträgt über eine volle Stunde gemittelt 400 Mikrogramm pro Kubikmeter, gemessen an drei aufeinanderfolgenden Stunden an den von den zuständigen Behörden gemäß Anlage 3 eingerichteten Probenahmestellen, die für die Luftqualität in einem Bereich von mindestens 100 Quadratkilometern oder im gesamten Gebiet oder Ballungsraum repräsentativ sind; maßgebend ist die kleinste dieser Flächen.

Stickstoffoxide: Zum Schutz der Vegetation beträgt der über ein Kalenderjahr gemittelte kritische Wert für Stickstoffoxide (NO_x) 30 Mikrogramm pro Kubikmeter.

Feinpartikel: Der über den Tag gemittelte Immissionsgrenzwert für Partikel PM₁₀ beträgt 50 Mikrogramm pro Kubikmeter bei 35 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr. Der über ein Kalenderjahr gemittelte Immissionsgrenzwert für Partikel PM₁₀ beträgt 40 Mikrogramm pro Kubikmeter. Im Gegensatz zu PM₁₀ gibt es für PM_{2,5} keinen Grenzwert für den Tagesmittelwert, sondern ausschließlich für den Jahresmittelwert (seit 1.1.2020: 20 µg/m³).

Darüber hinaus besteht eine Verpflichtung in Bezug auf die Expositionskonzentration: Der Mittelwert an Stationen im städtischen Hintergrund darf den Wert von 20 µg/m³ ab dem 1.1.2015 nicht überschreiten.

Diese Grenzwerte, die die europäischen Grenzwerte widerspiegeln, basieren auf wissenschaftlichen Erkenntnissen der Weltgesundheitsorganisation (WHO), die wiederholt auf die schwerwiegenden Auswirkungen von Stickoxiden auf die Gesundheit hingewiesen hat.

Wesentlich an diesen Grenzwerten ist, dass diese sogenannte „subjektive öffentliche Rechte“ darstellen, die der Staat zu garantieren hat und die jede/r Bürger/in bzw. auch bestimmte Umweltverbände notfalls einklagen können. Verschiedene Städte unterlagen im Jahr 2019 in unterschiedlichen Verfahren vor Gericht. Die Besonderheit an der Umsetzung und dem Vollzug der Grenzwerte vor Ort ist, dass eine Vielzahl von Verursachern in einer Kommune zur Emission von NO₂, NO_x und Feinpartikeln beiträgt, jedoch der Verkehr daran den Löwenanteil hält. Es ist Auf-

gabe der politischen bzw. administrativen Entscheidungsträger vor Ort, zu entscheiden, mit welchen Maßnahmen die Grenzwerte der 39. BlmschV nach einer Überschreitung wieder eingehalten werden können. In Betracht kommen dabei zum einen Verkehrsverbote, Verkehrsbeschränkungen (Höchstgeschwindigkeit) oder die Einführung von Umweltzonen. Andererseits liegt es auf der Hand, dass auch der vermehrte Einsatz von emissionsfreien Fahrzeugen bzw. Fahrzeugen mit alternativen Kraftstoffen einen entscheidenden Beitrag zur Senkung der NO₂-/NO_x-/PM₁₀-Emissionen leisten kann. Insofern wird ihr Einsatz gerade im kommunalen Fuhrpark auch in der Regel von der Politik vor Ort stark gefordert, gefördert und unterstützt. Damit ist die 39. BlmschV der zweite wichtige Hebel zur Beförderung alternativer Antriebe und Kraftstoffe. Die kommunalen Unternehmen sind auch hier in der Pflicht, die Marktentwicklungen in diesem Sektor zu beobachten und bei der öffentlichen Beschaffung ihrer Fahrzeuge die Förderung der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte mit in Betracht zu ziehen.

Im Jahr 2020 konnten bereits wesentliche Fortschritte in Deutschland mit Blick auf die Entwicklung der Emissionen gemeldet werden. So gab das Umweltbundesamt an, dass im Jahr 2019 der Jahresmittelgrenzwert für Stickstoffdioxid (NO₂) von 40 µg/m³ Luft nur noch an rund 20 % der verkehrsnahen Messstationen überschritten wurde. Im Jahr 2018 waren es hier noch 42 % gewesen. Insgesamt ist die Belastung mit Stickstoffdioxid deutschlandweit weiter rückläufig. Beim Feinstaub gab es 2019 erstmals keine Überschreitungen des derzeit geltenden Grenzwertes. Gleichwohl ist hier weiterhin Achtsamkeit geboten, auch wenn die fortlaufende technische Entwicklung und Markteinführung von „sauberen“ Fahrzeugen den erwünschten Trend hin zu geringeren Immissionen weiter unterstützen sollte.

CO₂-Grenzwerte bei schweren Nutzfahrzeugen

Nach jahrelangen Vorbereitungen wurde Mitte des Jahres 2019 die Verordnung (EU) 2019/1242 verabschiedet, die CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge (Klasse N₂ und N₃) festlegt, die ab 2025 beziehungsweise 2030 in zwei Stufen gelten. Nach den Erwägungsgründen der Verordnung machen die CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen, einschließlich Lastkraftwagen und Bussen, in der Union rund 6 % der CO₂-Gesamtemissionen und rund 25 % der CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr aus. Würden keine Maßnahmen ergriffen, würde der Anteil der CO₂-Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen voraussichtlich um 9 % über den Zeitraum 2010 bis 2030 steigen.

Die EU-Verordnung wirkt direkt und ist an die Hersteller der schweren Nutzfahrzeuge adressiert. Ziel ist es, einen Beitrag zur

Verwirklichung des Ziels der Europäischen Union, ihre Treibhausgasemissionen unter anderem im Verkehrsbereich bis zum Jahr 2030 um 30 % gegenüber den Werten von 2005 zu senken, zu leisten. Flottengrenzwert bedeutet, der Durchschnitt aller in der EU in einem Jahr zugelassenen Fahrzeuge eines Herstellers soll diesen Wert nicht überschreiten. Nicht jedes einzelne neue Fahrzeug muss also diesen Flottengrenzwert einhalten.

Mit der Verordnung werden Anforderungen an die CO₂-Emissionsleistung neuer schwerer Nutzfahrzeuge festgelegt, um die spezifischen CO₂-Emissionen der Unionsflotte neuer schwerer Nutzfahrzeuge im Vergleich zu den Bezugswerten für CO₂-Emissionen wie folgt zu senken:

- für die Berichtszeiträume ab dem Jahr 2025 um 15 %,
- für die Berichtszeiträume ab dem Jahr 2030 um 30 %, sofern nicht gemäß der in Artikel 15 genannten Überprüfung etwas anderes beschlossen wird.

Diese Flottengrenzwerte gelten zunächst für Lastkraftwagen (LKW) mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 16 Tonnen. Weitere Regulierungen folgen gegebenenfalls in den nächsten Jahren.

Die EU-Kommission berechnet hierbei ab 2024 für jeden Hersteller spezifische Zielvorgaben, deren Nichteinhaltung mit einer Abgabe geahndet wird. Hierbei gilt für sogenannte „Arbeitsfahrzeuge“, worunter auch Abfallsammelfahrzeuge fallen, eine besondere Berechnungsart, da für diese Fahrzeuge seitens des Verordnungsgebers angenommen wird, dass ein geringeres Emissionsminderungspotenzial vorliegt (etwa durch die geringere Kilometerzahl gegenüber Güterferntemperaturen).

Mit der Festlegung von Grenzwerten für bestimmte schwere Nutzfahrzeuge leistet nun auch diese Fahrzeugklasse ihren Beitrag zu den CO₂-Minderungszielen, nachdem Flottengrenzwerte schon für PKW und leichte Nutzfahrzeuge festgelegt worden sind.²

Die kommunalen Unternehmen der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung werden zwar durch die Verordnung als Anwender nicht direkt adressiert beziehungsweise verpflichtet, gleichwohl ist die Verordnung auch ein Treiber für die verstärkte Anwendung von alternativen Antrieben, die mit einer Senkung der CO₂-Emissionen einhergehen. Damit wird auch das Angebot an schweren Nutzfahrzeugen durch die Verordnung in Richtung „emissionsärmerer“ Fahrzeuge konditioniert, aus dem die Anwender künftig wählen können.

² Im Bereich PKW und leichte Nutzfahrzeuge wurde durch das „Fit for 55“-Paket bereits die zwingende Emissionsfreiheit aller ab 2035 zugelassenen Fahrzeuge vorgeschlagen.

03

TECHNISCHE ÜBERSICHT ÜBER
ALTERNATIVE ANTRIEBE

Teil 1: Batterieelektrische Antriebe

1. Technische Beschreibung

Fahrzeuge mit Elektroantrieb erzeugen bei der Fahrt keine Abgase und sind im Betrieb nahezu geräuschlos. Jedoch ist im Gegensatz zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor ein entsprechend großer Energiespeicher für die Fahrleistungen notwendig. Häufig wird als Energiespeicher eine elektrochemische Batterie verwendet und die Leistung des Elektromotors der Maximalleistung des Energiespeichers angepasst. Je nach Aufgabengebiet werden die Batterie-Elektrofahrzeuge in Elektrostraßenfahrzeuge und Flurförderzeuge unterteilt. Flurförderzeuge sind für innerbetriebliche Transportaufgaben vorgesehen und meist nicht für den Straßenverkehr zugelassen. Ihre Höchstgeschwindigkeiten liegen unterhalb von 50 km/h. Bei Batterie-Elektrostraßenfahrzeugen ist die Reichweite aufgrund der geringen Energiedichte der Batterien im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor deutlich geringer. Auch die Höchstgeschwindigkeit ist üblicherweise begrenzt. Während der Antrieb bei Flurförderzeugen größtenteils schon elektrisch erfolgt, ist der Anteil des Elektroantriebs bei Straßenfahrzeugen weiterhin, speziell bei Kommunalfahrzeugen, äußerst gering. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf Straßenfahrzeuge.

1.1 Elektromotoren

Der Antriebsstrang eines Elektrofahrzeuges besteht im Allgemeinen aus Leistungssteller, Motor und Getriebe. Der Leistungssteller setzt die Fahrpedalstellung in die entsprechenden Strom- und Spannungswerte am Motor um. Meistens wird das Antriebsdrehmoment über das Fahrpedal vorgegeben (wie beim Verbrennungsmotor). Da die Motorkosten wesentlich durch das geforderte maximale Drehmoment bestimmt werden, ist eine möglichst hohe Untersetzung zwischen Motor- und Raddrehzahl vorteilhaft. Abhängig von der gewünschten Steigfähigkeit und Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei gegebenem maximalem Drehmoment und Drehzahlbereich des verwendeten Antriebs kann die Untersetzung ein- oder auch mehrstufig gewählt werden. Moderne Elektrofahrzeuge besitzen einstufige Untersetzungen. Im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren ist bei elektrischen Antrieben zwischen Kurzzeitleistung (Maximalleistung) und über längere Zeit verfügbarer Leistung (Dauerleistung) zu unterscheiden, das heißt, es gibt zwei Leistungsangaben, wobei die Dauerleistung die in der Praxis relevante Größe ist.³ Die Maximalleistung kann regelmäßig nur über eine sehr kurze Dauer (im Sekundenbereich) abgerufen werden.

3 Die Einheit ist kW.

Aufgrund der hohen Leistung für den Elektroantrieb (ca. 100 kW) wird dieser mit einem Spannungsbereich von bis zu 450 V betrieben; im Fahrzeugbereich spricht man von HV-Spannung („Hoch-Volt“) und HV-Bordnetz. Aus Sicherheitsgründen ist das HV-Netz von der Fahrzeugmasse isoliert. Beim Bremsen wird der Elektromotor in den generatorischen Betrieb umgeschaltet und erzeugt elektrischen Strom, der in der Traktionsbatterie gespeichert wird. Die Gleichspannung des HV-Bordnetzes wird im Umrichter in eine mehrphasige Wechselspannung umgewandelt, wobei die Amplitude in Abhängigkeit vom gewünschten Antriebsmoment geregelt wird.

Es gibt verschiedene Antriebsarten:

Während gleichstrombasierte Antriebe bei Flurförderfahrzeugen noch gängig sind, werden sie bei modernen elektrischen Straßenfahrzeugen nicht mehr eingesetzt. Gängig sind bei Straßenfahrzeugen heute Asynchronantrieb und permanent erregter Synchronantrieb.

Asynchronantrieb

Der Asynchronantrieb besitzt den einfachsten und preiswertesten Motoraufbau bei – gegenüber Gleichstromantrieben – deutlich reduziertem Volumen und Gewicht. Prinzipiell ist der Aufbau für den Leistungssteller bei Drehstromantrieben jedoch höher als bei Gleichstromantrieben. Da kein mechanischer Stromwandler vorhanden ist, lassen sich bei entsprechender Motorkonstruktion Drehzahlen bis zu 20.000 U/min realisieren. Dies ermöglicht auch bei Elektrostraßenfahrzeugen Antriebskonzepte mit einstufiger Untersetzung. Die Wirkungsgrade liegen höher als bei Gleichstromantrieben, erreichen aber nicht ganz die Werte von Synchronantrieben mit Permanentmagneten (siehe unten). Bremsenergieerückgewinnung ist bei diesem Antrieb ebenfalls mit hohem Wirkungsgrad möglich.

Permanent erregter Synchronantrieb

Diese Antriebsvariante erzielt durch den Einsatz von Permanentmagneten zum Aufbau des Erregerfeldes auch im Teillastbereich sehr hohe Wirkungsgrade. Durch die Seitenerdenmagneten mit hoher Energiedichte sind Motoren mit sehr kleinen Bauvolumina bei hohen Drehmomenten realisierbar. Die Seitenerdenmagneten machen die Motoren aber teurer als zum Beispiel Asynchronmotoren.

1.2 Batterien als Energiequelle

Bei batterieelektrischem Antrieb dient die Batterie als (ausschließliche) Energiequelle. Versorgungsengpässe für Energie für Elektrofahrzeuge, die aus dem Stromversorgungsnetz aufgeladen werden, gibt es aktuell nicht. Wenn der Ladevorgang nachts erfolgt,

könnten mehr als zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland mit Strom versorgt werden, ohne dass zusätzliche Kraftwerke notwendig würden. Diese Anzahl an Elektrofahrzeugen würde nur etwa 5 % der Stromproduktion in Deutschland benötigen. Die Voraussetzung hierfür ist jedoch eine an die Nutzungsanforderungen angepasste Ladeinfrastruktur (siehe unten).

Während bei den Flurförderzeugen aus Kostengründen teilweise weiter die Blei-Säure-Technologie dominiert, haben sich bei modernen Straßen-Elektrofahrzeugen im Wesentlichen Lithium-Batteriesysteme durchgesetzt.

Lithium-Ion-/Lithium-Polymer-Batterien

Eigenschaften	Wert
Zellenspannung	3–4 V
Energiedichte	60–180 Wh/kg
Leistungsdichte	300–1.500 W/kg
Lebensdauer in Zyklen	> 1.000 projiziert
Betriebstemperatur	–10 bis 50 bzw. 60 °C
Wartungsfrei	Ja

Lithium-Systeme erlauben Energiedichten von bis zu 180 Wh/kg und Masse-Leistungsdichten von über 300 bis 1.500 W/kg, bei einzelnen neueren Akkus auch von mehreren Tausend W/kg. Sie sind bei Umgebungstemperaturen und auch geringfügig höheren Temperaturen nutzbar und weisen hohe Zellenspannungswerte von jeweils rund 4 V auf. Lithium-Systeme zeigen keinen Memory-Effekt wie das Nickel-Cadmium-System. Nachteilig bei Lithium-Systemen ist der relativ hohe Aufwand, der für die System-sicherheit erbracht werden muss. Auch muss im Kurzschlussfall die Batterie besonders geschützt werden, um eine Gefährdung der Umgebung zu verhindern. Ferner bedarf es eines Überhitzungsschutzes bei Ladung und Nutzung. Verschiedene Hinweise zum sicheren Umgang gibt es seitens der Unfallversicherungsträger und vom Verband der deutschen Automobilindustrie.

Lithium-Ion-Batterie

Bei der Lithium-Ion-Batterie werden Lithium-Ionen auf der negativen Elektrode in ein Graphitgitter elektrisch reversibel eingelagert. Die positive Elektrode enthält als wesentlichen Bestandteil Kobalt neben wiederum Lithium, was das System sehr teuer macht. Man versucht daher, preiswertere Materialien wie zum Beispiel Mangan einzusetzen. Als Elektrolyt wird organisches Material verwandt. Wässrige Elektrolyte lassen sich wegen der starken chemischen Reaktion von Lithium mit Wasser nicht einsetzen.



Abbildung 1: Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge (E-Bagger, Abfallsammelfahrzeuge), Stadtreinigung Hamburg

Lithium-Polymer-Batterie

Ein weiteres sehr vielversprechendes Lithium-System ist die Lithium-Polymer-Batterie. Sie besteht aus einer dünnen Lithium-Folie, einem Polymerelektrolyten und einer positiven Folienelektrode mit dem Hauptbestandteil Vanadium oder Mangan. Dieser Umstand macht Lithium-Polymer-Batterien kostengünstiger als Lithium-Ion-Batterien.

Sonstiges

Daneben gibt es intensive Forschungen an weiteren geeigneten Batterieanwendungen.

Ein Batteriemangement-System überwacht den Ladezustand sowie die Leistungsfähigkeit der Batterie.

1.3 Ladeinfrastruktur

Voraussetzung für die Nutzung von elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist die Existenz einer der Nutzung angepassten Ladeinfrastruktur.

Zur Aufladung der Batterien kann bei geringem Leistungsbedarf grundsätzlich jede Haushaltssteckdose genutzt werden. Mit dieser stehen jedoch maximal 2,8 kW elektrische Leistung zur Verfügung, sodass dort pro Stunde Ladezeit nur für eine Fahrstrecke von bis zu 15 km bei PKW nachgeladen werden kann. Diese Lade-

betriebsart ist für das Laden von Fahrzeugen möglich, sofern der Fahrzeughersteller diese Ladebetriebsart erlaubt und sichergestellt ist, dass die Spannungsversorgung mit einem Fehlerstromschutzschalter (RCD) ausgestattet ist.

Eine speziell auf Elektrofahrzeuge ausgerichtete Ladeinfrastruktur, die für PKW und leichte Nutzfahrzeuge ausgerichtet ist, besteht in einer zweckgebundenen Steckdose, die sich an einer am Netz fest installierten AC-(Wechselstrom/Drehstrom)-Ladestation/-säule befindet. Eine AC-Ladesäule ist für die Über-Nacht-Ladung bzw. die Ladung der Batterie außerhalb der Einsatzzeit ausreichend mit einer Ladeleistung von 22 kW. Es ist sinnvoll, die Fahrzeuge, wenn sie nicht im Betrieb sind, an die Ladesäule anzuschließen, um einer Entladung entgegenzuwirken und die Batterie zu beheizen.

Das Laden mit Gleichstrom (DC) wird üblicherweise für höhere Ladeleistungen verwendet. Für schwere Nutzfahrzeuge ist für die Zwischenladung eine DC-Schnellladesäule notwendig, die bis zu 150 kW Ladeleistung hat. Im Bereich des Ladens mit Gleichstrom gibt es aktuell schon Hochleistungstechnik sowohl auf der Ladeinfrastrukturseite als auch auf der Lademanagementseite der Fahrzeuge, die eine Ladeleistung von bis zu 150 kW im „Normalfall“, in Sonderfällen mit besonderer Kühlleistung auch schon bis zu 300 kW erlaubt.

Beim Laden mit Gleichstrom „kommuniziert“ die Ladestation mit dem Fahrzeug, wobei die Höhe der Ladespannung und des Lade-

stroms nach den Anforderungen des Fahrzeugs übertragen wird. Grundsätzlich ist das Kabel an der Ladestation fest angebracht.⁴

Die maximale Ladeenergie ist durch die nutzbare Batteriekapazität begrenzt. Entsprechend liegen die größten gemessenen Ladeenergien für LKW zwischen 120 und 130 kWh, für Minis bei 17 kWh, für Kompakt-BEV bei 25 kWh und für Kastenwagen bei knapp 30 kWh.

Das sogenannte Combined Charging System (CCS) bezeichnet ein Ladesystem, das sowohl AC- wie DC-Ladung mit einem einheitlichen Standard, dem gleichen elektrischen System, dem gleichen mechanischen Bauraum und denselben Sicherheitsvorkehrungen ermöglicht. Dieses ist für die Beladung von Fahrzeugen des Fuhrparks der Abfallwirtschaft, der Stadtreinigung und des Winterdienstes gut geeignet.

Für den Fuhrpark der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung mit der damit einhergehenden hohen Anzahl an schweren Nutzfahrzeugen ist jedenfalls regelmäßig die Schaffung einer eigenen betrieblichen Ladeinfrastruktur bzw. die Mitbenutzung bestehender nicht-öffentlicher Ladeinfrastruktur, die auf schwere Nutzfahrzeuge ausgerichtet ist, notwendig. Daher muss beim Kauf von neuen elektrischen schweren Nutzfahrzeugen immer mitgedacht werden, welche Ladeinfrastruktur dafür geschaffen werden oder gegebenenfalls über andere Großbetriebe, wie etwa den ÖPNV, mitgenutzt werden kann. Die öffentliche Ladeinfrastruktur wird nur für PKW genutzt werden können. Daher müssen für die Ladeinfrastruktur eigene Stellflächen und die entsprechend nötigen elektrischen Leitungen eingeplant und genehmigt werden.

Von der Europäischen Union wurde der Typ-2-Stecker als Standardladesteckverbindung für Wechselstrom-(AC)- und Drehstromanschlüsse (DC) festgeschrieben. Hier muss jedoch beachtet werden, dass einige, vor allem aus dem asiatischen Raum kommende Fahrzeuge, diesen Steckertyp nicht haben.

1.4 Exkurs: Teilelektrifizierte Fahrzeuge

Nur kurz eingegangen werden soll an dieser Stelle auf teilelektrifizierte Fahrzeuge. Diese werden nicht vollumfassend durch einen elektrischen Antrieb versorgt, sondern bestehen regelmäßig aus einem Verbrennungsmotor und haben daneben etwa eine Brennstoffzelle oder einen sonstigen elektrischen Antriebsstrang – zum Beispiel eine diesel-elektrische Leistungseinheit –, wodurch bestimmte Teilprozesse der Abfallsammlung angetrieben werden, etwa das Laden oder die Verpressung von Müll respektive die Gewährleistung des Drehtrommelantriebs oder des Funktionierens der elektrischen Schüttung. Dadurch lassen sich teil-

weise beträchtliche Treibstoffeinsparungen erzielen. Des Weiteren können auch Lärmprobleme durch teilelektrische Anwendungen vermieden werden.

Da solche Teillösungen nicht im Fokus dieser Infoschrift stehen, werden diese Lösungen an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Teilweise werden unter „teilelektrische Fahrzeuge“ auch Fahrzeuge mit Hybridantrieb gefasst, denen in dieser Schrift aber ein eigenes Kapitel gewidmet ist (siehe unten).

Die folgenden Ausführungen zur Marktverfügbarkeit beziehen sich daher, wenn nicht anders angegeben auf vollelektrifizierte Fahrzeuge.



Abbildung 2: Teilelektrifizierte Kehrmachine, Stadtreinigung Hamburg

2. Marktverfügbarkeit

Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge mit elektrischem Antrieb ist das Angebot an Fahrzeugen noch sehr gering. Es gibt erste einzelne Produkte, die sich auch bei Kunden schon im Einsatz befinden. Eine Variante ist der Umbau von Dieselfahrzeugen auf Elektroantrieb. Dieser Umbau kann sowohl bei neuen Fahrzeugen als auch bei gebrauchten Fahrzeugen vorgenommen werden. Eine zweite Variante ist die Herstellung von neu konstruierten Elektrofahrzeugen durch die großen Fahrzeughersteller.

⁴ Vgl. Nationale Plattform Elektromobilität, 2013, Technischer Leitfaden Ladeinfrastruktur, S. 52.



Abbildung 3: Leichtes Elektrisches Nutzfahrzeug, Quelle ASR Chemnitz

Teilelektrische Anwendungen sind zum Beispiel Dieselfahrzeuge in Leichtbauweise, wobei der Aufbau und die Schüttung elektrisch angetrieben sind. Durch die Leichtbauweise kann das zusätzliche Gewicht des Elektrosystems (das heißt für Batterie, Ladegerät, Antrieb für die Hydraulikpumpe, Kontrollsystem) ausgeglichen werden. Mannheim betreibt etwa ein Sperrmüllfahrzeug mit elektrischer Schüttung und Pressvorrichtung. Hier kann der Antriebs-/ Fahrmotor etwa innerhalb von großen Wohnanlagen abgeschaltet werden und die Schüttung und Pressvorrichtung elektrisch bedient werden, insofern kann die Sperrmüllabfuhr geräusch- und abgasärmer durchgeführt werden.

3. Einsatz in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

Bei den schweren Nutzfahrzeugen sind derzeit verschiedene Modelle in der Erprobung, zum Teil muss die Einsetzbarkeit für die Zwecke der Abfallsammlung und der Stadtreinigung erst definiert

werden. Anders als im PKW-Bereich ist die Marktverfügbarkeit derzeit sehr eingeschränkt. Die Nutzung von elektrisch betriebenen schweren Nutzfahrzeugen bedarf umfangreicherer Einweisungen des Personals als bei dieselbetriebenen Fahrzeugen.

Kleine Kehrmaschinen sind in der Testung bereits weiter fortgeschritten, Kleinserienfahrzeuge sind bereits von den Herstellern verfügbar. In Köln wird zum Beispiel die Green Machine 500 ZE Electric Sweeper eingesetzt.

Elektrische Großkehrmaschinen sind ebenso bereits im Einsatz, etwa in Hamburg mit dem Maschinentyp VS 6e der Firma Brock.

Im Bereich Abfallsammlung ist zum Beispiel in Hamburg der Volvo FE Electric in Testung. Das gleiche Fahrgestell ist in München als Abrollkipper im Einsatz (siehe Bericht unten). Weitere Entwicklungen der großen Fahrzeughersteller werden in den nächsten Monaten und Jahren erwartet.

Im Folgenden werden zwei Erfahrungsberichte wiedergegeben.

Beispiel 1: Vollelektrisches Sammelfahrzeug (Wirtschaftsbetriebe Duisburg, WBD)

Seit dem 5.10.2020 haben die WBD ein Abfallsammelfahrzeug (ASF) mit einem vollelektrischen Antrieb in der Bioabfallsammlung im Einsatz. Es handelt sich dabei um den Futuricum Collect 26E der Firma Designwerk. Als Basis für den E-LKW wurde ein Chassis des Herstellers Volvo verwendet, der Abfallsammelaufbau und die Schüttvorrichtung sind von der Kirchhoff Gruppe.

Die Beschaffung erfolgte über das nationale Förderprogramm „saubere Luft“ in Form eines Investitionszuschusses, der sich auf Grundlage der jeweiligen Investitionsmehrkosten berechnet. Mit einem inkludierten Full-Service-Vertrag beträgt der Gesamtpreis circa das Dreifache eines konventionellen Abfallsammelfahrzeuges.

Die Nennleistung beträgt 280 kW (381 PS) bei 7.500 min⁻¹. Es sind zwei Hochvolt-Batterien mit jeweils 169 kWh verbaut. Über den bisherigen Einsatzzeitraum beträgt der durchschnittliche Energieverbrauch 141 kWh pro 100 km. Der Ladevorgang erfolgt an der auf dem Betriebsgelände eingerichteten Ladesäule. Das Fahrzeug wird nach der Sammeltour angeschlossen und über Nacht geladen. In der Fahrzeugkonfiguration werden ca. 90 % der Batterieladung freigegeben und der Rest dient als Reserve. Da in der Bioabfallsammlung aufgrund der geringeren Dichte an Anfahrstellen – im Vergleich zur Hausmüllsammmlung – mehr Kilometer am Tag gefahren werden, musste die Batterie anfänglich tagsüber zwischengeladen werden. Schnell war klar, dass mehr Reichweite gebraucht wird, weshalb im April 2021 das Batteriepaket durch den Hersteller aufgestockt wurde. Mit der zusätzlichen Batteriekapazität ist nun keine Zwischenladung mehr notwendig. Aktuell kann das Revier mit ca. 125 km Fahrtstrecke pro Tag in einem Stück abgearbeitet werden, wobei dann noch ca. 50 % Restkapazität vorhanden sind.

Das vollelektrische Abfallsammelfahrzeug (ASF) ist mit 17,6 t Leergewicht etwas schwerer als das ASF mit Brennstoffzelle und kann „nur“ 9,4 t zuladen. Für das eingesetzte Revier ist dies jedoch vollkommen ausreichend.

Das Fahrpersonal berichtet von einem angenehmen Fahren, das vergleichbar mit einem konventionellen ASF ist. Lediglich durch die Rekuperation musste die Fahrweise angepasst werden, da auch dieses Fahrzeug automatisch abbremst, sobald das Gaspedal nicht mehr betätigt wird. Es gibt drei Modi, wobei der Fahrer in der Regel den mittleren Modus nutzt. Es ist zu erwarten, dass der Bremsenverschleiß dadurch deutlich geringer als bei einem normalen ASF ausfällt. Die Beschäftigten empfinden auch hier die allgemeine Geräuschkulisse als sehr positiv. Man hört keine Motorgeräusche, sondern nur die Abrollgeräusche der Reifen. Insgesamt ist die Kolonne mit dem Fahrzeug sehr zufrieden, allerdings hätte man sich etwas mehr Stauraum im Fahrerhaus gewünscht.



Abbildung 4: Vollelektrisches Abfallsammelfahrzeug, Wirtschaftsbetriebe Duisburg



Abbildung 5: Elektrischer Abrollkipper, Abfallwirtschaftsbetrieb München

Beispiel 2: Vollelektrischer Abrollkipper (AWM München)

Der kommunale Entsorgungsbetrieb AWM setzt seit dem Jahr 2020 den vollelektrischen Abrollkipper Volvo FE Electric (27 Tonnen) im Stadtgebiet für die Containerlogistik der Wertstoffhöfe ein. Das Fahrzeug ist für die Aufnahme verschiedener Arten von Containern ausgelegt. Für diesen speziellen Einsatz hat das Fahrzeug eine Reichweite von ca. 120 Kilometern. Der LKW verfügt über zwei Synchron-Wechselstrom-Elektromotoren. Vier Lithium-Ionen-Batterien mit je 50 kWh sorgen hierbei für die nötige Energie. Der E-LKW kann auf unterschiedliche Weise geladen werden: entweder über einen AC-Ladevorgang mit bis zu 22 kW oder, wenn Eile geboten ist, im DC-Ladevorgang mit bis zu 150 kW. In letzterem Fall ist die Batterie in ca. einer Stunde wieder vollgeladen. Die Motorleistung liegt maximal bei 400 kW, die Dauerleistung bei 260 kW. Das maximale Drehmoment beträgt 850 Nm.

Bei der Modellreihe Volvo FE Electric verbessert sich dank des niedrigen Geräuschpegels und des vibrationsfreien Antriebs auch das Arbeitsumfeld der Fahrer/innen. Das Laden der elektrischen LKW erfolgt entweder am Stromnetz oder an Schnellladestationen.

Bei dem Aufbau handelt es sich um den Abrollkipper RL 18 der Firma Meiller. Durch die Elektrifizierung des E-Volvos kann der Nebenantrieb nun bedarfsgerecht angesteuert und eingesetzt werden. Das bedeutet, dass dieser nur läuft, wenn er auch wirklich benötigt wird. Durch den vollelektrischen Antrieb ist der Aufbau nun zudem erheblich leiser, da die Hydraulikpumpe nur noch läuft, wenn der Abrollkipper auch tatsächlich in Betrieb ist. Aufgrund der daraus resultierenden Energieeinsparung wiederum erhöht sich die Reichweite für den LKW.

Beispiel 3: Elektrische Großkehrmaschine⁵ aus Hamburg

Die Fragestellung im Mai 2020 war klar: Kann der Kehrmaschinen-Prototyp der Firma Brock Kehrtechnik den Anforderungen der Stadtreinigung Hamburg (SRH) gerecht werden, ist die Technik unter allen Jahres-Witterungslagen und den vielseitigen Alltagsanforderungen stabil und zuverlässig und ist die Leistungsfähigkeit mit einer „konventionellen Diesel-Maschine“ vergleichbar?

Nach einem Jahr Einsatz ohne große technische oder energetische Probleme muss die Antwort „Ja, mit kleinen Einschränkungen“ heißen.

Zu den Maschinendaten: Der Maschinentyp VS 6e der Fa. Brock ist technisch sehr stark an die Standard-Maschinen der SRH angelehnt worden. Die Maschine hat ein zulässiges maximales Gesamtgewicht von 15.000 kg (wie die SRH-Dieselvariante), und das bei einem Leergewicht von 10.800 kg (SRH-Dieselvariante 10.450 kg), leer ohne Frischwasser. Der Elektro-Antriebsmotor verfügt über eine maximale Leistung von 250 kW und „bewegt“ die Maschine auch aufgrund des maximalen Drehmoments von 3.400 Nm mehr als ausreichend zügig. Bei sonst absolut identischen Fahrzeugdaten wie einem Frischwassertankvolumen von 1.200 l und einem Aufbau-Sammelbehälter mit 6 m³ Inhalt muss sich der/die SRH-Fahrer/in eigentlich überhaupt nicht umstellen, da die Firma Brock auch die gesamte Aufbau-Bedieneinheit bewusst gleich der bekannten und bewährten Diesel-Variante ausgeführt hat.

Der den Antrieb und die Nebenaggregate der Elektro-Maschine mit Energie versorgende Akku hat eine Brutto-Kapazität von ca.

180 kWh (netto wohl ca. 160 kWh) und das Laden des Akkus erfolgt noch etwas „rückständig“ über einen 400V/32A-Stecker-Anschluss. Hier gibt es aktuell sicher die Möglichkeit, auf die derzeit üblichen AC-Varianten mit Mennekes-Typ-2-Stecker bis 22 kW oder auch auf DC-CCS-Ladestationvarianten mit bis zu 150 kW Ladeleistung auszuweichen. Die Maschine der SRH ist hinsichtlich des Entwicklungsstandes noch auf dem Stand von ca. 2017/2018.

Was bringt die ganze schöne Technik also für die SRH bzw. für die Fahrer/innen?

Zunächst einmal keine Einbußen in der Leistungsfähigkeit. Die in drei Stufen schaltbare Turbinen-/Saugleistung entspricht mindestens der Leistung der Dieselmotoren. Natürlich kann dieser Unterdruck erzeugende Turbinenbetrieb nicht vollkommen ohne Arbeitsgeräusche vonstatten gehen, dieses aber in Abhängigkeit von der gewählten Turbinenleistungsstufe (1–3) mit für den Fahrer um 8–6 dB(A) reduziertem Schallpegel am Ohr. Auch die Umgebung der Maschine profitiert vom elektrischen Aufbau-Antrieb; hier reduzieren sich die Schallpegel, abhängig von der Stufe, um 7–2 dB(A).

Dies betrifft natürlich den Haupteinsatzbereich des Kehrens/ des Arbeitens. Im reinen Fahrbetrieb durch die Stadt liegen die Schallpegelreduzierungen bei 7 dB(A) für den Fahrer und bis zu 20 dB(A) für die Maschinen-Umgebung. Die leicht reduzierte zulässige Nutzlast (ca. 350 kg) der Maschine macht sich für den/die Fahrer/in im Regel-Alltag kaum bemerkbar. Was sich aber subjektiv bei allen Mitarbeitenden, die bislang an dem Test teilgenommen haben, bemerkbar gemacht hat, ist die wesentlich geringere körperliche Belastung in der Schicht mit der Elektro-Maschine. Das geringe Geräuschniveau in Verbindung mit den völlig fehlenden Vibrationen der Elektro-Maschine hat bei allen zu einem deutlich verbesserten Wohlbefinden nach dem Dienst geführt, sodass alle Fahrer/innen über deutlich weniger Erholungsbedarf berichtet haben. Das Fehlen des Verbrennungsmotors – die Dieselvariante der SRH verfügt sogar über zwei Dieselmotoren – ist hier als ein großer gesundheitsfördernder Baustein für das eingesetzte Personal zu bewerten. Wenn es dann bei hoher Leistungsfähigkeit neben der Entlastung der Mitarbeiter/innen auch noch den immer wichtiger werdenden Klimaschutz-Effekt mit eingesparten ca. 11.500 l Diesel (Einschichtbetrieb) oder entsprechend ca. 30.000 kg CO₂ bei der Nutzung dieser alternativen Antriebstechnik gibt, dann sind doch alle Kriterien positiv besetzt. Warum also die Einschränkung am Anfang des Berichtes?

Aktuell reicht die Energiemenge der Maschine/des Akkus noch nicht, um problemlos einen Zweischichtbetrieb zu realisieren

⁵ Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Kehrmaschinen nicht im Geltungsbereich des Saubere- Fahrzeuge-Beschaffungs-Gesetzes stehen (siehe FAQ-Dokument im Anhang). Dennoch soll auch der Einsatz von alternativen Antrieben im Bereich der Straßenreinigung in dieser Infoschrift Berücksichtigung finden.

(Energiebedarf pro Schicht ca. 100 kWh im Durchschnitt). Da die meisten Kehrmaschinen der SRH im Zweischichteinsatz genutzt werden, ist hier entweder eine Erhöhung der Akku-Kapazität bei nicht zu vergrößerndem Einbauraum und keiner Erhöhung des Leergewichtes umzusetzen, oder es muss zwischen den beiden Schichten eine Zwischenladung mit hoher Ladeleistung erfolgen.

Aktuell kümmert sich die SRH um beide Thematiken als nächsten Schritt in der Entwicklung/der Umsetzung einer weiter effizienten und maximal ausgelasteten Nutzung dieser neuen Antriebstechnik. Ein damit in Verbindung stehender sehr enger Dialog mit der betrieblichen Leitung (Schichtmodelle/Arbeitsorganisation) ist hier dringend erforderlich. Eine Anpassung der betrieblichen Anforderungen an die neue Technik sollte in Maßen möglich sein, ohne dass die neue Technik der effizienten Leistungserbringung des Betriebes und auch der Berücksichtigung der Mitarbeiter/innen-Belange widerspricht.

Auch ein Wort noch zu den Kosten. Wie in vielen anderen Nutzfahrzeuggereichen darf auch hier bei der rein batterieelektrischen Variante in Relation zum Diesel-Standard zumindest aktuell von dreimal so hohen Investitionskosten ausgegangen werden. Eine Kostensituation, die auch in der Nutzungsphase durch verringerte Energiekosten und gegebenenfalls geringere Betreuungs-/Wartungskosten nur zu einem kleinen Teil wieder ausgeglichen werden kann. Der Gesetzgeber ist auch hier aufgerufen, mit passenden Förderprogrammen ein Hochfahren der Produktionszahlen und über die erhöhten Stückzahlen eine zu erwartende Anpassung der Kosten nach unten zu bewirken.

Die Technik scheint auf dem besten Weg zu sein, die Restaufgaben auf dem Weg zum Erfolg der Antriebsalternative liegen auch bei uns. Die SRH ist aber nach zwölf Monaten Test so überzeugt worden, dass es trotz der kleinen Einschränkung mit der aktuellen Maschine bei der SRH weitergeht.

Teil 2: Elektrischer Antrieb auf Wasserstoffbasis

1. Technische Beschreibung

Fahrzeuge, die mit einer Brennstoffzelle ausgestattet sind (FCEV, fuel cell electric vehicle), zählen zu den Elektrofahrzeugen. Zusätzlich zu der Batteriespeicherkapazität ist bei Brennstoffzellenfahrzeugen die Speicherkapazität über Wasserstofftanks erforderlich. Vorteil der Nutzung des Wasserstoffs ist seine gute Speicherfähigkeit. Nach derzeitigem Stand eignen sich Brennstoffzellenfahrzeuge besonders für den Einsatz für permanent lange Strecken (hohe Reichweite) und bei großem Energiebedarf. Die Ladezyklen bei Brennstoffzellenfahrzeugen sind denen von Dieselfahrzeugen vergleichbar, das heißt, die für das Tanken beanspruchte Zeit ist gegenüber „nur“ batterieelektrischen Fahrzeugen deutlich geringer. Auch das Gewicht des Fahrzeugs ist aufgrund der deutlich kleineren Batterie geringer, was eine größere Reichweite ermöglicht.

Aufgrund der Tatsache, dass Fahrzeuge, die auf Basis von Wasserstoff betrieben werden, in der politischen Diskussion oft als eigene Kategorie angeführt werden und dass technisch nicht ganz korrekt von „Wasserstofffahrzeugen“ gesprochen wird, wird den

elektrischen Antrieben auf Wasserstoffbasis in dieser Infoschrift ein eigenes Kapitel gewidmet. Die Verwendung von Wasserstoff bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren wurde in der Vergangenheit erprobt, allerdings wurden entsprechende Versuche abgebrochen. Deswegen ist die Brennstoffzelle derzeit die einzig relevante Art der Wasserstoffnutzung für den Antrieb von LKW. Jüngst sind wieder Vorhaben verschiedener Hersteller bekannt geworden, eigene Wasserstoffverbrennungsmotoren zu entwickeln.⁶ Aufgrund der mangelnden Erfahrung und der fehlenden Marktverfügbarkeit wird dieser Ansatz in dieser Infoschrift nicht weiter dargestellt, sondern ausschließlich die Brennstoffzellentechnologie thematisiert.

Bei der Brennstoffzelle handelt es sich um eine Wandlertechnik, die die im Brennstoff enthaltene chemische Energie direkt in elektrische Energie umwandelt. In einer Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle reagiert der Wasserstoff in einer kalten Verbrennung mit Sauerstoff zu Wasser und produziert dabei Strom. Brennstoffzellen funktionieren ohne bewegliche Teile, ohne mechanische Reibung und arbeiten effizient und geräuscharm und ohne Emission von Schadstoffen.

⁶ <https://www.n-tv.de/auto/Kehrt-der-Wasserstoff-Verbrenner-zurueck-article22364694.html> (abgerufen am 2. März 2021)

Die Vor- und Nachteile der Brennstoffzellentechnik sind im Folgenden kurz aufgeführt:

Vorteile:

- Gute Regelbarkeit
- Hohe Stromkennzahl und hoher elektrischer Wirkungsgrad
- Leistungserweiterung durch modularen Aufbau
- Geringerer Wartungsaufwand (geringere laufende Kosten) im Vergleich zum Verbrennungsmotor
- Geringe Schadstoff- und Lärmemissionen
- Hohes Entwicklungspotenzial

Nachteile:

- Hohe Investitionskosten aufgrund der bisher geringen Anwendung
- Abhängigkeit von spezifischer H₂-Tankinfrastruktur
- Bisher geringe Erprobung bei schweren Nutzfahrzeugen und daher geringe technische Erfahrungswerte (zum Beispiel mit Blick auf Frostentwicklung etc.)
- Noch sehr wenige Anbieter

Funktionsweise des Brennstoffzellensystems

Eine Brennstoffzelle besteht aus zwei Elektroden (Anode und Kathode), die durch einen Elektrolyten voneinander getrennt sind. Der Elektrolyt ist nur für Ionen durchlässig. Die Elektroden sind über einen äußeren Stromkreis miteinander verbunden. Für mobile Anwendungen werden meist Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen verwendet (PEM-BZ, englisch Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell).

Für den Betrieb eines Brennstoffzellenstacks, das heißt des Systems zur Umwandlung von Wasserstoff und Sauerstoff in elektrische Energie, sind Teilsysteme zur Sauerstoff- und Wasserstoffversorgung sowie zur thermischen Konditionierung notwendig. Prinzipiell gibt es viele Realisierungsmöglichkeiten dieser Teilsysteme. Die hier beschriebene Darstellung kommt in vielen Kfz-Anwendungen zum Einsatz.

Wasserstoffversorgung

Der Wasserstoff wird in einem 350- oder 700-bar-Hochdrucktank gespeichert. Über einen Druckminderer wird der Wasserstoff auf ca. 10 bar entspannt und über ein Dosierventil der Anode zugeführt. Das Dosierventil ist ein elektrisch ansteuerbares Ventil, über das anodenseitig der Druck des Wasserstoffs eingestellt wird. Der Brennstoffstack benötigt eine Durchströmung mit Wasserstoff auf der Anodenseite, um die Leistungsfähigkeit des Stacks zu erhalten (Homogenisierungsmaßnahme). Dazu wird der Wasserstoff innerhalb des Systems rezirkuliert. Störende Fremdgase auf der Anodenseite werden über ein elektrisch ansteuerbares Ventil, das

Ablassventil, regelmäßig abgelassen. Das Ventil ist anodenseitig am Stackausgang angebracht. Auch zum Ausblasen unerwünschter Wassermengen im Anodenpfad wird das stromlos geöffnete Ventil eingesetzt. Der beim Abblasen zwangsläufig mit abgegebene Wasserstoff wird entweder stark mit Luft verdünnt oder katalytisch zu Wasser umgesetzt.

Sauerstoffversorgung

Der zur elektrochemischen Reaktion notwendige Sauerstoff wird der Umgebungsluft entnommen, die geforderte Luftmenge beträgt hierbei bis zu 100 g/s. Diese Luftmenge wird entsprechend der gewünschten Brennstoffzellenleistung von einem Verdichter angesaugt, auf maximal 2,5 bar verdichtet und der Kathodenseite der Brennstoffzelle zugeführt. Um genügend Feuchte für die Polymermembran sicherzustellen, wird die zugeführte Luft befeuchtet, entweder über eine Austauschmembran aus den feuchten Abgasen oder über die Einspritzung von auskondensiertem Wasser.

Thermomanagement

Brennstoffzellen haben einen elektrischen Wirkungsgrad von ca. 50 %. Dies bedeutet, dass etwa so viel Wärmeleistung wie elektrische Leistung bei der Umwandlung von chemischer Energie entsteht. Die Wärme muss abgeführt werden. PEM-Brennstoffzellen arbeiten mit einer Betriebstemperatur von 85 Grad Celsius auf einem niedrigeren Temperaturniveau als Verbrennungsmotoren. Trotz des höheren Wirkungsgrades müssen Kühler und Kühlerlüfter bei Brennstoffzellensystemen im Kfz-Antrieb größer ausgelegt werden. Da das eingesetzte Kühlmittel in direktem Kontakt mit den Brennstoffzellen steht, muss es elektrisch nichtleitend (deionisiert) sein. Die elektrische Kühlmittelpumpe fördert einen Kühlmittelstrom durch alle eingebundenen Komponenten. Die Fördermenge beträgt bis zu 12.000 l/h. Ein Kühlmittelsteuerventil übernimmt die Aufteilung des Kühlmittelstroms auf Kühlerzweig und Kühlerbypasszweig. Es wird Kühlmittel auf Basis eines deionisierten Wasser-Glykol-Gemischs verwendet.

Sicherheit

Aus Sicherheitsgründen sind mehrere Wasserstoffsensoren im Fahrzeug angebracht. Der farb- und geruchslose Wasserstoff führt schon ab einem Anteil von 4 Volumenprozent in der Luft zu einem zündfähigen Gemisch; die Sensoren sprechen bereits ab 1 Volumenprozent an.

Elektroantrieb

Die Besonderheit bei Brennstoffzellenfahrzeugen ist, dass die Brennstoffzelle als Generator wirkt und die Batterie hierbei mit Energie versorgt. Die Batterie ist der Energielieferant für den Antrieb. Zum Aufbau der elektrischen Komponente (Brennstoffzelle und Batterien) siehe oben.

Brennstoffzellentypen

Es gibt verschiedene Typen von Brennstoffzellen, die zu verschiedensten Zwecken eingesetzt werden können, etwa die Alkalische Brennstoffzelle im Bereich der Luft- und Raumfahrt oder die Phosphorsäurebrennstoffzelle im Bereich der Block-Heizkraftwerke (Kraft-Wärme-Kopplung). Im Folgenden werden die Brennstoffzellen beschrieben, die in Fahrzeugen eingesetzt werden.

In der Mobilität kommt insbesondere die Polymerelektrolytbrennstoffzelle PEMFC (Membran-Brennstoffzelle) zum Einsatz.

Bei diesem Brennstoffzellentyp gibt es eine Abhängigkeit vom verwendeten Elektrolyt, womit er sowohl als Nieder-Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEFC) ($20\text{ °C} - 100\text{ °C}$) wie auch als Hochtemperaturvariante ($130\text{ °C} - 200\text{ °C}$) einsetzbar ist. Die Kathode wird mit Sauerstoff (O_2), die Anode mit Wasserstoff (H_2) oder Kohlenwasserstoff (zum Beispiel Methan – CH_4) versorgt. Der Wirkungsgrad liegt zwischen 40 und 60 %. Vorteile der Membran-Brennstoffzelle sind der hohe Wirkungsgrad sowie das ausgezeichnete Kaltstartverhalten.

Merkmal der Polymerelektrolytbrennstoffzelle (PEFC; Polymer Electrolyte Fuel Cell) ist die dünne, gasdichte, protonenleitende, feste Polymerelektrolytmembran als Elektrolyt. Hier sind Säuregruppen eingebunden, das heißt, die Protonen diffundieren durch die Membran wie bei allen sauren Zellen von der Anode zur Kathode, woraus zusammen mit den Sauerstoff-Ionen Wasser (H_2O) entsteht. Der elektrische Kontakt von den Elektroden zu den bipolaren Platten erfolgt über metallische oder Kohlenstoff enthaltende Stromableiter (Gasdiffusionslage). Um den Antransport der Reaktionsgase und den Abtransport des Reaktionswassers zu ermöglichen, müssen diese Stromableiter gas- und flüssigkeitsdurchlässig sein. Der wirtschaftlich interessante Leistungsbereich liegt zwischen wenigen Watt und ca. 300 kW. Dabei eignen sich technisch erreichbare Vorlauftemperaturen von 75 °C bei Abwärmenutzung auch für die Heizwärmeversorgung.

Um Systemkosten zu senken, zielen Entwicklungen auf die Erhöhung der Betriebstemperatur und eine Verringerung der Katalysatorbelastung. Dabei handelt es sich um sogenannte Hochtemperatur-PEFC (HT-PEFC). Nun ist es möglich, auch mit geringeren Brenngaseinheiten zu arbeiten. Weiterhin lässt sich die Reaktionswärme auf einem deutlich höheren Temperaturniveau auskoppeln, was die Verwendung kleinerer und damit preiswerterer Wärmeaustauscher ermöglicht.

Neue Entwicklungen

Für den serienmäßigen Brennstoffzelleneinsatz wird insbesondere in der Fahrzeugklasse N1 bis N3 noch ein großes Entwicklungspotenzial gesehen. Von daher ist in den nächsten Jahren zu



Abbildung 6: Wasserstofftankstelle in Hamburg,
© Fokussiert/stock.adobe.com

erwarten, dass sich beim Brennstoffzellen-Antrieb noch erhebliche technische Fortschritte einstellen werden.

Wasserstoff-Tankinfrastruktur

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen ist das Vorhandensein einer adäquaten Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur. Als Basis könnten hierfür bestehende Tankstellen genutzt werden, die ihr Angebot um den Kraftstoff H_2 erweitern. Hierbei ist aber zu beachten, dass die für H_2 geltenden rechtlichen Vorschriften beachtet werden müssen, die im Vergleich zu Diesel völlig andere Bedingungen festlegen. Die Einhaltung dieser Bestimmungen kann für Tankstellenbetreiber mit erheblichem Aufwand verbunden sein. Mittelfristig dürfte sich dieser Aufwand durch die zu erwartende Steigerung der Menge der Brennstoffzellenfahrzeuge und damit die Steigerung der Nachfrage refinanzieren.

Daneben ist auch die Einrichtung dezentraler, vom derzeitigen Tankstellennetz unabhängiger Wasserstofftankstellen im Einzelfall zielführend. Dies könnte sich etwa an Standorten von Kraftwerken, Windrädern etc. anbieten, wo überflüssiger Strom über den Weg der Elektrolyse in Form von Wasserstoff den Kraftwerken abgenommen werden und zur Betankung von Fahrzeugen benutzt werden könnte.

2. Marktverfügbarkeit

Für schwere Nutzfahrzeuge in der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung kann Folgendes ausgeführt werden: Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb wurden in den letzten Jahren einzelne Modelle getestet, die überwiegend

als Einzelstücke aus kleinen Fertigungsstätten kamen. Diese Fertigungsstätten haben die Produkte für einzelne Kunden aufgrund spezieller Rahmenbedingungen (Wasserstoff-Umfeld ist vorhanden oder im Aufbau) oder aus konkreten Projekt-Umgebungen als Nachweis des zugehörigen Praxis-Beispiels gefertigt. Erst in jüngster Zeit kommen Fahrzeuge mit Serienreife, aber in sehr kleiner Anzahl, auf den Markt. Eine massenhafte Ausweitung der Fertigung scheidet in der Regel an der mangelnden Nachfrage, die durch den im Vergleich zu Dieselfahrzeugen deutlich höheren Preis (ca. Faktor 3) begründet ist. Es gibt aber aktuell Entwicklungen bei diversen Großserienherstellern (noch mit großen Umsetzungs-Zeitschienen versehen) oder auch mittelständischen Unternehmen, die ein Hochfahren der Produktion zumindest in einen Kleinserien-Bereich zeitnah zulassen werden. Es können somit in einigen Jahren (ca. 2025) auch Losgrößen an Fahrzeugen hergestellt und an Kunden ausgeliefert werden, die sich an einer auch für Standard-Fahrzeuge vorgesehenen Ersatzbeschaffungs-Jahresstückzahl orientieren können. Dies wohl nicht für den ganzen Jahres-Abnahmemarkt, aber für eine Stückzahl, die die Einhaltung des 10-%-Anteils „sauberer“ Fahrzeuge gemäß CVD-Vorgabe ermöglichen würde.

Eine weitere Hürde ist die vielerorts noch zu schaffende Wasserstoff-Tankstelleninfrastruktur.

Beispiel 1: Ein Wasserstofffahrzeug in der Bochumer Abfallsammlung

Die USB Bochum GmbH nahm am 8. Juni 2021 erstmals ein Wasserstofffahrzeug in die Unternehmensflotte auf. Der Dreiaxser mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 27 t wird zunächst in der Restmüllsammlung eingesetzt und wurde aus Mitteln des Bundesförderprogramms „Saubere Luft“ mitfinanziert.

Das Wasserstofffahrzeug bewegt sich grundsätzlich mit elektrischer Energie fort. Diese Energie wird über Brennstoffzellen erzeugt, die mit Wasserstoff gespeist werden. So wird die Fahrbatterie ständig nachgeladen und es werden die für die Abfallsammlung nötigen Reichweiten erreicht. Die Kapazität der Batterie beträgt 85 kW (EOL). Die Brennstoffzelle als Range-Extender fasst 30 kW. Zweimal zwei Wasserstofftanks (insgesamt vier) fassen je ein Volumen von 4,2 kg Wasserstoff. Das Fahrzeug hat eine Nutzlast von knapp 11 t.

21 Ladepunkte stehen auf dem USB-Betriebsgelände an der Hanielstraße zur Verfügung. Über einen Typ-2-Stecker wird die Fahrbatterie des Wasserstofffahrzeugs einmal pro Tag nachgeladen. Die Ladeinfrastruktur (insgesamt acht Wallboxen, zwei

3. Einsatz in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

Durch die speziellen Anforderungen der im kommunalen Einsatz genutzten Fahrzeuge, wie zum Beispiel Energieversorgung von Arbeits-Aufbauten auf Müllsammelfahrzeugen (zum Beispiel Schüttung) oder Kehrmaschinen, eignet sich die Brennstoffzellen-Wasserstofftechnik ganz besonders, um hier, passend ausgelegt, einen sicheren und auskömmlichen Betrieb der Fahrzeuge auch unter verschiedensten Rahmenbedingungen zu gewährleisten.

Bei einer grundsätzlich immer gleichen Basiskonfiguration einer bestimmten Fahrzeugart kann mittels Auswahl und Bestimmung der täglich erforderten Energiemenge eine Tank-/Energiespeicher-Konfiguration ausgewählt werden, die sich weitgehend gleichartiger Technik-Komponenten bedient. Die Brennstoffzellentechnik bietet vor diesem Hintergrund eine große Flexibilität für verschiedene Anwendungen, darunter insbesondere der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung. Allerdings kann man zurzeit nur auf Erfahrungen mit Brennstoffzellenfahrzeugen, die auf umgebauten Dieselfahrzeugen beruhen, zurückgreifen. In diesem Zusammenhang werden die Vorteile noch nicht deutlich, da man durch den konventionellen Aufbau der Einrichtungen eingeschränkt ist.

Schnellladesäulen und ein separater Ladepunkt) war auf dem USB-Gelände bereits eingerichtet. Der Wasserstoff wird an der Wasserstoff-Tankstelle Ewald in Herten getankt. Aktuell wird diese alle zwei Tage angefahren. Die Fahrten werden mit einem Leervorgang bei der Abfallentsorgungs-Gesellschaft Ruhrgebiet mbH (AGR) verbunden.

Die ersten Erfahrungen mit dem neuen Fahrzeug sind nach knapp drei Wochen positiv: Deutlich leiser und ruhiger als ein Verbrenner, schafft der Wagen dennoch gute Beschleunigungen. Im Einsatz bei der Restmüllsammlung wird sowohl von den Ladern als auch von den Fahrern insbesondere die deutliche Lärmreduzierung als sehr wohltuend empfunden. Der geringere Geräuschpegel sorgt für ein wesentlich entspannteres Arbeiten und ermöglicht eine Kommunikation ohne lautes Rufen. Gelobt wird nach der ersten Hitzeperiode in diesem Jahr auch, dass durch das Fehlen eines Verbrennungsmotors dieser auch keine Wärme entwickeln kann, was für die Lader das Arbeiten an der Schüttung deutlich angenehmer macht. Die Fahrer wiederum begrüßen die gute Beschleunigung selbst bei hoher Zuladung. Auch wenn das Fahren eines Wasserstofffahrzeugs mit seinen Besonderheiten noch etwas ungewohnt ist: Das Fahrer/Lader-Team möchte das Fahrzeug nicht missen.



Abbildung 7: Brennstoffzellenfahrzeug USB Bochum GmbH, © André Grabowski, Stadt Bochum

Als negativer Nebeneffekt zeigte sich, dass Passanten und andere Verkehrsteilnehmer, aufgrund der geringen Lautstärke des Elektroantriebs, weniger und deutlich später auf das Fahrzeug aufmerksam werden.

Sollte sich das Fahrzeug in den folgenden Monaten weiterhin gut in der Abfallsammlung einsetzen lassen, ist die Anschaffung drei weiterer Wasserstofffahrzeuge geplant. Das Projekt „Abfallsammelfahrzeuge mit Wasserstoff“ wird im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie mit insgesamt 1,87 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert. Die Förderrichtlinie wird von der NOW GmbH koordiniert und durch den Projektträger Jülich (PtJ) umgesetzt.

Beispiel 2: Kirchhoff Ecotec Bluepower Abfallsammelfahrzeug mit H₂-Brennstoffzelle in Duisburg

Seit dem 6.5.2021 ist bei den Wirtschaftsbetrieben Duisburg ein mit drei Brennstoffzellen ausgestattetes Abfallsammelfahrzeug (ASF) vom Typ Bluepower in der Hausmüllsammmlung im Einsatz. Es handelt sich hierbei um ein vollelektrisches Fahrgestell mit Batterie und Wasserstoff-Brennstoffzellen als Range-Extender. Die Brennstoffzellen wandeln den getankten Wasserstoff in Strom und Wasser um. Über den erzeugten Strom wird zum einen der Fahrantrieb mit Spannung versorgt und zum anderen die verbauete Batterie geladen; diese dient dem Fahrzeug zur Abdeckung von „Leistungsspitzen“. Bei dem Bluepower handelt es sich um ein Niederflurfahrgestell mit Rotationsverdichter als Abfallsammelaufbau. Die Beschaffung erfolgte mit Unterstützung eines euro-

päischen Förderprogramms, wobei die Förderquote 60 % vom Anschaffungswert betrug. Über das sogenannte HECTOR-Projekt (Hydrogen Waste Collection Vehicles in North West Europe) wurden sieben Abfallsammelfahrzeuge in sieben Unternehmen innerhalb Europas beschafft. Das Gesamtfördervolumen betrug dabei 5.570.000 €. Mit inkludiertem Full-Service-Vertrag beträgt der Gesamtpreis circa das Vierfache eines konventionellen Abfallsammelfahrzeuges.

Das ASF hat ein zulässiges Gesamtgewicht von 27 t, ein Leergewicht von 16,65 t und kann somit 10,35 t zuladen. Die Nennleistung beträgt 240 kW (326 PS) bei 3.600 min⁻¹. Es sind drei Brennstoffzellen mit einer Einzelleistung von 30 kWh verbaut und der Wasserstoffspeicher wird mit 700 bar betrieben. Bei einem Tankvolumen von 4 x 10³ Litern bzw. einer „H₂-Masse“ von 4 x 4,1 kg stehen somit 16,4 kg Wasserstoff zur Verfügung.

Aufgrund des Einsatzprofils mit wiederkehrenden Stadt- und Autobahnanteilen wurde das Fahrzeug in der höchstmöglichen Ausstattung bezüglich Anzahl der Brennstoffzellen und Tankkapazität konfiguriert. In der Folge konnte der Tausch der konventionellen Komponenten einen Nutzlastverlust von ca. 500 kg nicht kompensieren; dies im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug.

In dem eingesetzten Revier werden im Durchschnitt 88 km und maximal 104 km pro Tag zurückgelegt, bei einer durchschnittlichen täglichen Einsatzzeit von 8 h pro Tag. Dadurch muss das Fahrzeug alle zwei bis drei Tage betankt werden, was einem etwas kürzeren Rhythmus als bei einem herkömmlichen ASF entspricht.



Abbildung 8: Brennstoffzellenfahrzeug Duisburg, © Dominik Asbach

Die Betankung erfolgt an einer zentral in Duisburg gelegenen öffentlichen Tankstelle. Grundsätzlich ist der Aufwand für die Betankung mit der für ein konventionelles Fahrzeug gleichzusetzen.

Vergleicht man die Treibstoffkosten pro Tag, das heißt H_2 : 4,6 kg (9,50 €/kg) und Diesel: 49,7 l (1,17 €/l), so zeigt sich, dass ca. 25 % weniger Kosten für Treibstoffe entstehen. Insgesamt ist das Fahrzeug deutlich leiser als herkömmliche Abfallsammelfahrzeuge und die einzige aktive Geräuschquelle ist der Rotationsverdichter. Das Fahrzeug leistet somit neben der Vermeidung von Abgasemissionen auch einen wichtigen Beitrag zur Lärmreduktion in den Wohngebieten.

Im Vergleich zu konventionellen vollelektrischen Antrieben, die teilweise über Stunden geladen werden müssen, kann bei dem Wasserstofffahrzeug spontan und relativ schnell getankt werden. Perspektivisch müsste sich die Verfügbarkeit von Wasserstoff an öffentlichen Tankstellen jedoch erhöhen, da nur so eine Versorgungssicherheit – aufgrund möglicher Ausfälle – gewährleistet werden kann. Es erfolgt aktuell eine Marktsondierung, inwieweit mobile Tanksysteme innerbetrieblich zur Verfügung gestellt werden können.

Grundsätzlich bewährt sich das Fahrzeug im täglichen Einsatz und ist nicht auffälliger als konventionelle Fahrzeuge. Es kam kurzzeitig zu Fahrzeugstillständen, da das Brennstoffzellensystem Auffälligkeiten in der Temperaturentwicklung zeigte. So mussten einmal die Brennstoffzellen überprüft werden. Ein zweites Problem mit dem Kühlwassersystem konnte auch zeitnah behoben werden.

Das Fahrpersonal berichtet von einem angenehmen Fahren, was nach einer circa einwöchigen herstellereitigen Begleitung leicht bewerkstelligt werden konnte. Lediglich das Zuschalten des „Wasserstoffantriebes“ und der Umgang mit der Energierückgewinnung über die Rekuperation war ungewohnt. Durch die Bremsenergieerückgewinnung – in der höchsten von drei Stufen – muss die Bremse selbst allerdings kaum noch genutzt werden.

Weiterer Ausblick

Die Alltagstauglichkeit von Antrieben mit Brennstoffzellen ist bereits nachgewiesen. Für eine kommerzielle Nutzung als Fahrzeugantrieb müssen sie jedoch hinsichtlich Wirtschaftlichkeit weiter verbessert und in größerer Zahl hergestellt werden. Es ist zu erwarten, dass die Preise für Brennstoffzellen bei deutlicher Erhöhung der Nachfrage nach Brennstoffzellenfahrzeugen deutlich sinken werden.

Systemvereinfachungen können sowohl Kosten- als auch Zuverlässigkeitsvorteile bringen. Ein Ansatz ist die Entwicklung neuer Polymermembranen für Brennstoffzellen, bei denen auf eine Befeuchtung der Reaktionsgase verzichtet werden kann und die gleichzeitig eine Erhöhung der Betriebstemperatur erlauben. Die Kosten aller Komponenten müssen deutlich verringert werden. Große Einsparpotenziale liegen beispielsweise in der Reduzierung des Platingehalts der katalytischen Beschichtung in der Brennstoffzelle.

Teil 3: Hybridantriebe

1. Technische Beschreibung

Im weiteren Sinn werden unter der Bezeichnung „Hybridantriebe“ Fahrzeugantriebe mit mehr als einer Antriebsquelle verstanden. Dabei können mehrere, gegebenenfalls verschiedenartige Energiespeicher und/oder Leistungswandler vorhanden sein. Entwicklungsziel ist es, verschiedenartige Antriebskomponenten so zu kombinieren, dass die jeweiligen Vorteile bei unterschiedlichen Betriebszuständen zum Tragen kommen und diese den zu leistenden erhöhten technischen und wirtschaftlichen Aufwand von Hybridantrieben überwiegen.

In der Abfallwirtschaft kommen Arbeitsmaschinen zum Einsatz, bei denen auch andere Komponenten als die Fahrleistung, etwa die Schüttung, zu betrachten sind. So können Abfallsammelfahrzeuge, die mit Verbrennungsmotor für die Fortbewegung angetrieben werden, eine elektrische Schüttung haben. Umgangssprachlich spricht man auch hier manchmal von „Hybriden“. In dieser Infoschrift werden aber solche Varianten unter der Kategorie „teilelektrische Fahrzeuge“ (siehe oben unter „Batterieelektrische Fahrzeuge“) behandelt. In diesem Kapitel wird der Begriff Hybridantriebe nur unter dem Aspekt der Fahrleistung verwendet.

Die Hybridantriebe werden in dieser Infoschrift der Vollständigkeit halber behandelt. Es wird darauf hingewiesen, dass schwere Nutzfahrzeuge mit Hybridantrieben, das heißt Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und zusätzlichen Antriebstechniken, nicht ohne Weiteres unter die Definition der „sauberen“ Fahrzeuge nach der Clean Vehicles Directive fallen. Lediglich Plug-in-Hybridfahrzeuge werden im Bereich der schweren Fahrzeuge nach Angaben aus dem Bundesverkehrsministerium von der Definition der „sauberen Antriebe“ nach CVD erfasst.

2. Einteilung der Hybridantriebe

Der Verbrennungsmotor als Fahrzeugantrieb wird bislang in puncto Leistungsangebot und Reichweite von keiner anderen Antriebsart übertroffen. Die Nachteile und damit der Anstoß, den Verbrennungsmotor zu einem Hybridantrieb zu erweitern, liegen

im Absinken des Wirkungsgrades bei Teillast sowie im emissionsbelasteten Betrieb. Bei manchen Hybridantrieben wird deshalb der Verbrennungsmotor allein nur für die mittlere Fahrleistung bemessen und genutzt. Die Leistungsunterschiede zur zeitweise benötigten höheren Fahrleistung werden durch den zusätzlichen mechanischen oder elektrischen Energiespeicher gedeckt.

Hybridantrieb mit mechanischem Speicher

Der Hybridantrieb mit Verbrennungsmotor und Schwungrad ermöglicht durch Zu- und Abschalten der drei Kupplungen K 1, K 2 und K 3 eine Vielzahl von Betriebsweisen. Der Verbrennungsmotor kann sowohl mit dem Eingang des Lastschaltgetriebes als auch mit dem Schwungrad direkt mechanisch gekuppelt werden.

Darüber hinaus kann der Verbrennungsmotor über das stufenlose Getriebe die beiden Speicher kinetischer Energie (Schwungrad und Fahrzeugmasse) aus dem Stillstand heraus starten. Ebenfalls ist mit dieser Struktur ein Parallelbetrieb mit den beiden Antriebsmotoren Dieselmotor und Schwungrad möglich, bei dem nur die dem Schwungrad entnommene Leistung über das verlustbehaftete stufenlose Getriebe mit hydrostatischen Wandlern zum Lastschaltgetriebe übertragen wird, während die Motorleistung direkt dem Getriebeeingang zugeführt wird.

Hybridantrieb: Verbrennungsmotor und Elektroantrieb

Eine größere Bedeutung haben bisher lediglich Hybridantriebe erlangt, die aus der Kombination eines Verbrennungsmotors und eines Elektroantriebs bestehen, der entweder aus einer mitgeführten Batterie oder aus einem Fahrdraht über Stromabnehmer versorgt wird.⁷

3. Marktverfügbarkeit

Die Technik für Hybridfahrzeuge, die in einer Kombination von Verbrennungsmotor und elektrischer Batterie für die Fahrleistung besteht, ist großtechnisch ausgereift und grundsätzlich auf dem Markt verfügbar. Allerdings haben diverse Versuche des Einsatzes von solchen Hybridfahrzeugen im Bereich der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung ergeben, dass die Hybridtechnik in diesem

⁷ Hybride Varianten ohne Verbrennungsmotor, die aus zwei elektrischen Bestandteilen, etwa Batterie und Brennstoffzelle, oder aus einem mechanischen Speicher und einer Batterie bestehen, haben in der Praxis keine Bedeutung erlangt.

Sektor kaum Vorteile bringt. Denn die besonderen Bedingungen der Abfallsammlung und Stadtreinigung, die mit der Zurücklegung kurzer Strecken bei niedriger Geschwindigkeit mit vielen Stopps („Stop and Go“) einhergehen, erlauben es der Hybridtechnik nicht, ihren Nutzen zu entfalten. Vielmehr schlägt eher der Nachteil eines höheren Gewichts der zusätzlichen elektrischen Komponente zu Buche, womit die Nutzlast des Fahrzeugs reduziert wird. Insofern haben die verschiedenen Versuche dazu geführt, dass die Hybridtechnik mit Blick auf die Fahrleistung bei Abfallsammelfahrzeugen bzw. Straßenreinigungsfahrzeugen als nicht vorteilhaft angesehen wird. Mangels Nachfrage existiert auf dem Markt daher kaum mehr ein Angebot an Hybridfahrzeugen spezifisch für die Abfallsammlung und Stadtreinigung. Etwas anderes gilt für Fahrzeuge, die für mittellange Abfalltransporte (etwa städtischer Verteilerverkehr) eingesetzt werden, zum Beispiel Containerfahrzeuge.

Einsatz in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

Wie oben erwähnt, haben sich Hybridfahrzeuge im Bereich der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung, das heißt überwiegend Nutzfahrzeuge der Klassen N2 und N3, als nicht geeignet erwiesen und werden daher – anders als im Bereich des ÖPNV, der leichten Nutzfahrzeuge oder PKW – kaum eingesetzt. Wie oben erwähnt, können hybride Antriebe geeignet sein für schwere Nutzfahrzeuge im Abfalltransport über längere Strecken.

Teil 4: Gasbetriebene Antriebe – Erdgas (CNG/LNG) als Kraftstoff bei Ottomotoren

1. Technische Beschreibung

Mit Blick auf die weltweiten Anstrengungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und zur Einhaltung immer strenger werdender Abgasgrenzwerte haben Erdgas und Biogas als alternative Kraftstoffe zunehmend an Bedeutung gegenüber Benzin als Standardkraftstoff für Ottomotoren gewonnen und können mindestens als Brückentechnologien zwischen den herkömmlichen Kraftstoffen Diesel und Benzin einerseits und den emissionsfreien elektrischen Antrieben andererseits gelten. Vor allem dem Einsatz von Biogas wird ein Potenzial zur Dekarbonisierung des Verkehrssektors zugeschrieben. Konventionelles Erdgas kommt natürlich, in fossiler Form wie Kohle und Erdöl, vor. Fossiles, unkonventionelles Erdgas, das in unkonventionellen Lagerstätten im Boden lagert, wird durch sogenanntes „Fracking“ gewonnen. Größte Exporteure von Erdgas sind Russland und die USA.

Erdgas ist nach Mineralöl der zweitwichtigste Primärenergieträger im deutschen Energiemix. Im Jahr 2017 betrug nach Angaben des Bundeswirtschaftsministeriums sein Anteil am Primärenergieverbrauch 23,8%.⁸

Der weitaus wichtigste Markt für Erdgas ist derzeit der Wärmemarkt, wobei andere Einsatzbereiche im Ausbau begriffen sind. Namentlich im Mobilitätsbereich hat Erdgas Vorteile. Erdgas ist im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern klimafreundlicher, da der Einsatz mit geringeren CO₂-Emissionen einhergeht. Gleichwohl ist der Einsatz von Erdgas eher eine Nische, nur 0,2% des Erdgases werden hier verbrannt.

Insofern ist es folgerichtig, dass Erdgas bei schweren Nutzfahrzeugen auch als sauberer Antrieb im Rahmen der Clean Vehicles Directive angesehen wird.

Neben fossilen Quellen kann Erdgas auch in biologischer Form, aus der Vergärung von Bioreststoffen, zum Beispiel aus der Bioabfallsammlung oder aus Energiepflanzen, gewonnen werden, wobei letztere im Flächennutzungskonflikt mit dem Nahrungsmittelanbau stehen. Der Methangehalt von Biogas liegt im Bereich 40 bis 75%, weswegen dieses zusätzlich aufbereitet werden muss, um mit mindestens 96%igem Methangehalt in das Erdgasnetz eingespeist und gespeichert werden zu können. Biogas wird mit der Begründung, dass Vergärungsprodukte die Menge an CO₂ gespeichert haben, die bei der Verbrennung wieder freigesetzt wird, auch als CO₂-neutral bezeichnet. Darüber hinaus kann Methan

8 <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/konventionelle-energetraeger.html>

synthetisch und CO₂-neutral über sogenannte „Power to Gas“-Anlagen erzeugt werden. Dabei betreibt regenerativ erzeugter Strom die E-Gas-Anlage, in der durch Elektrolyse zunächst Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff gespalten wird und anschließend eine Methanisierung aus CO₂ und Wasserstoff stattfindet. Das so erzeugte Methan kann direkt in das Erdgasnetz eingeleitet werden.

Die folgende Abhandlung konzentriert sich auf Antriebe mit konventionellem Erdgas.

1.1 Eigenschaften und Speicherung von Erdgas

Unter Standardbedingungen (Raumtemperatur und Umgebungsdruck) handelt es sich bei Erdgas um ein gasförmiges, brennbares, farb- und geruchsloses Gasgemisch, das erst zum Verbraucherschutz odorisiert wird. Aufgrund des hohen Wasserstoffanteils ist die Dichte von Erdgas niedriger als die Dichte unserer Umgebungsluft. Dieser Umstand gibt Erdgas außerdem einen höheren massebezogenen Heizwert als flüssigen Kohlenwasserstoffen.

Methan weist unter den Alkanen die geringste dynamische Viskosität auf (20 % gegenüber Benzin), was in fehlenden Schmier- und Dämpfungseigenschaften resultiert, die bei der Auslegung mechanischer Bauteile in Verbrennungskraftmaschinen berücksichtigt werden müssen.

Der Hauptbestandteil von Erdgas ist Methan (CH₄) mit einem Anteil von 75–99 %. Der Rest besteht aus Inertgasen wie Kohlendioxid, Stickstoff und anderen kurzkettigen Kohlenwasserstoffen.

Nach der Zusammensetzung werden verschiedene Typen von Erdgas unterschieden: H-Gas (von engl. „high“ [calorific] gas, Erdgas mit hohem Energiegehalt) hat einen höheren Methangehalt (87 bis 99 Vol.-%), während L-Gas (vom engl. „low“ [calorific] gas, Erdgas mit niedrigem Energiegehalt) bei Methananteilen von 80 bis 87 Vol.-% größere Mengen an Stickstoff und Kohlendioxid enthält.

- **L-Gas** besteht aus etwa 85 % Methan, 4 % weiteren Alkanen (Ethan, Propan, Butan, Pentan) und 11 % Inertgasen.
- **H-Gas aus der Nordsee** besteht aus circa 89 % Methan, 8 % weiteren Alkanen (Ethan, Propan, Butan, Pentan) und 3 % Inertgasen.
- **H-Gas aus den GUS-Staaten** besteht aus circa 98 % Methan, 1 % weiteren Alkanen (Ethan, Propan, Butan, Pentan) und 1 % Inertgasen.

Die Bezeichnung H- bzw. L-Gas bezieht sich auf das von den Energieversorgern verteilte Gas. Auf der Seite der Gasgeräte gibt es mit der Norm (DIN) EN 437 eine ähnliche Klassifizierung, die

jedoch nicht deckungsgleich ist. Hier entspricht L-Gas dem Typ LL (low-low) und H-Gas dem Typ E (Europe).

Erdgas kann sowohl flüssig bei –160 °C als LNG (Liquefied Natural Gas) oder komprimiert bei Drücken von bis zu 200 oder 250 bar als CNG (Compressed Natural Gas) gespeichert werden. Wegen des hohen Aufwands bei der Flüssigspeicherung wird Erdgas bei fast allen Anwendungen in komprimierter Form verwendet. Nachteilig wirkt sich die geringe Dichte von Erdgas aus. Trotz einer höheren Energiedichte pro Kilogramm als beispielsweise Diesel und Benzin sind für Erdgas deshalb große Speichertanks in Fahrzeugen und in Tankstellen notwendig, die sich vergleichsweise negativ auf die Gewichtsbilanz und die Anschaffungskosten des Fahrzeugs auswirken und gegebenenfalls Laderaumverluste durch ein großes Packaging zur Folge haben können. Die Erdgastypen L und H unterscheiden sich nicht nur in der Zusammensetzung (siehe oben), sondern auch in ihren physikalischen Eigenschaften.

Speicherung

Zum Ausgleich von Lastschwankungen bei der Erdgasversorgung wurden Untergrund-Erdgasspeicher errichtet. Für die sichere Einlagerung großer Erdgasmengen eignen sich

- Porenspeicher (natürliche unterirdische Speicher in den Poren ausgeförderter Erdöl- und Erdgaslagerstätten),
- Kavernenspeicher (Hohlräume in unterirdischen Salzstöcken, die durch einen Solprozess angelegt werden).

Neben dem Ausgleich zwischen Bedarf und Aufkommen gewährleisten die Erdgasspeicher in Deutschland die Versorgungssicherheit im Falle von Lieferunterbrechungen und erfüllen darüber hinaus auch die Funktion, Rohöl und Produkte zur Krisenvorsorge zu lagern.

1.2 Erdgasfahrzeuge/Erdgasmotoren

Erdgasfahrzeuge gibt es in zwei Ausführungen: bivalent und monovalent.

Bivalente Fahrzeuge (auch bifuel genannt) können sowohl mit dem Treibstoff Erdgas als auch mit Benzin fahren. Durch Betätigen eines Schalters oder automatisch kann der Betrieb zwischen den Kraftstoffen jederzeit gewechselt werden. Dadurch ist die Reichweite der Fahrzeuge vergleichbar mit konventionell angetriebenen Personenkraftwagen.

Monovalente Fahrzeuge (monofuel) werden ausschließlich mit komprimiertem oder flüssigem Erdgas betrieben. Die Motoren bei monovalenten Fahrzeugen sind auf den Erdgasbetrieb technisch besser abgestimmt, mit einem optimierten Kraftstoffverbrauch und geringeren Schadstoffemissionen.

Bivalente Fahrzeuge wurden vor allem in der Einführungsphase der Gasantriebe im PKW-Bereich angeboten. Hintergrund war die geringe Erdgastankstellendichte zur Zeit der Einführung. Bivalente Fahrzeuge resultieren auch aus Umrüstungen herkömmlicher benzinbetriebener Fahrzeuge. Erdgasmotoren im Nutzfahrzeugsbereich der Abgasnorm Euro VI basieren heutzutage überwiegend auf monovalent, stöchiometrisch betriebenen, fremd- bzw. kerzengezündeten Motoren in Verbindung mit Dreiwegekatalysatoren.

Aufgrund der besseren Gemischbildung und homogeneren Verteilung gelten Erdgasmotoren gegenüber Benzin- und Dieselmotoren allgemein als laufruhiger und geräuschärmer.

1.3 Technische Besonderheiten

Gemischbildung, Aufladung und Zündung

In den meisten Systemen erfolgt die Gemischbildung wie bei einer konventionellen Multipoint-Benzineinspritzung in das Saugrohr, alternativ auch als Single Point Fuel Injection als zentrale Gasbeimischung. Den Vorteilen einer sehr guten Gemischhomogenisierung und einer einfacheren Integrierbarkeit in ein bestehendes Motorkonzept stehen hierbei Schwankungen in der Gemisch-Zusammensetzung und Nachteile der zylinderindividuellen Motorregelung entgegen. Das unter Hochdruck gespeicherte Erdgas wird aus dem Tanksystem über einen Druckregler in ein Niederdruck-Common-Rail geleitet und an die Einblasventile verteilt. Diese (1 bis 2 pro Zylinder) blasen die je nach Anforderung erforderliche Erdgasmenge, intermittierend in das Saugrohr ein. Über die Drosselklappe wird die zugeführte Frischluftmasse geregelt, in die das Erdgas eingebracht wird. Aufgrund der kurzen Mischstrecke und Zeit ist die Gemischhomogenisierung hier anspruchsvoller, der Einblasstrategie kommt dabei eine wichtige Funktion zu. Allgemein macht eine vollständige gasförmige Kraftstoffeinbringung die Gemischbildung einfacher, da Erdgas nicht an den Saugrohren kondensiert und kein Wandfilm aufgebaut wird wie bei Benzin als Kraftstoff. Insbesondere während des Warmlaufs hat dies günstige Auswirkungen auf die Emissionen. Das Verdrängungsverhalten des eingebrachten Gases in das Saugrohr führt allerdings zu Füllungsanteilen gegenüber der Einspritzung von Flüssigkraftstoff, was Leistungseinbußen verursacht (niedriger Gemischheizwert), die jedoch durch Aufladung teilweise kompensiert werden können. Die Turbinenleistung bzw. der Ladedruck werden durch einen verminderten Massenstrom im Bereich geringer Drehzahlen im Low-End-Torque-Bereich bei einstufiger Aufladung zusätzlich begrenzt, was sich durch eine gehemmte Leistungsentfaltung bei Gasmotoren darstellen kann. Durch mehrstufige Aufladung oder sogenanntes Scavenging kann diesem Umstand entgegengewirkt werden, indem durch Anpassung der Ventilsteuerzeiten ein Luftdurchspülen ermöglicht wird. Ein weiterer Grund für den Nennleistungsverlust liegt im Wegfall der füllungssteigernden Gemischkühlung flüssigen Kraftstoffs.

Aufgrund der hohen Oktanzahl von Erdgas besitzt dieses eine hohe Klopfestigkeit und bietet die Möglichkeit einer hohen Verdichtung. Auch diese Eigenschaft macht eine Aufladung, meist durch Abgasturbolader mit Ladeluftkühlung, für eine Steigerung des innermotorischen Wirkungsgrads und des Ansprechverhaltens mittlerweile unerlässlich. Im nächsten Takt erfolgt die weitere Verdichtung zu einem hohen Verdichtungsverhältnis. Eine auf den Erdgasbetrieb ausgelegte Kolbenmulde sorgt für eine gleichmäßige Verteilung des Luft-Kraftstoff-Gemischs im Zylinder und eine erhöhte Verdichtung. Die Funkenzündung ist bei fremdgezündeten Gasmotoren in der Nutzfahrzeuanwendung das etablierte Zündverfahren. Der Elektrodenverschleiß von Zündkerzen stellt gegenüber selbstzündenden Dieselmotoren einen Nachteil dar.

Die Verbrennungstemperatur ist last- und zündzeitabhängig. Das Entflammungsverhalten gegenüber Benzin ist bei CNG langsamer (maximal bei $\lambda = 1$), die Verbrennungsspitzen temperaturen liegen bei CNG zunächst niedriger. Durch eine fehlende Innenkühlung wegen des gasförmigen Kraftstoffs steigt jedoch die thermische Beanspruchung. Zur Reduktion hoher thermischer Belastungen findet in modernen CNG-Antrieben eine gekühlte Abgasrückführung (AGR) statt. Die mechanische Beanspruchung ist von der Höhe des Zünddrucks bzw. dem maximalen Zylinderdruck abhängig. Neben thermischen und mechanischen Beanspruchungen kann das Fehlen hydraulischer Eigenschaften des Kraftstoffs zu erhöhtem Verschleiß führen. Der Erdgasmotor hat im Vergleich zum Benzinmotor eine um etwa 10–15 % reduzierte Leistung, bedingt durch die geringere Kraftstoffmasse, die für eine stöchiometrische Verbrennung (Verhältnis 17,2 : 1) benötigt wird, sowie durch einen geringeren Luftliefergrad aufgrund der Verdrängung durch das eingeblasene Erdgas. Eine höhere Verdichtung kann die Leistungseinbuße reduzieren und gleichzeitig den Wirkungsgrad erhöhen. Die extrem hohe Klopfestigkeit von Erdgas (120 ROZ) ermöglicht eine sehr hohe Verdichtung von ca. 13 : 1 (bei Normalbenzin 8 : 1). Dadurch ist der Erdgasmotor ideal für die Turboaufladung geeignet. Mit kleineren Hubvolumina steigt der Wirkungsgrad durch zusätzliche Entdrosselung und Reibungsreduzierung.

Eine weitere Wirkungsgradverbesserung kann durch Magerbetriebe bis $\lambda = 1,7$ erzielt werden. Ein mageres Gemisch senkt die Verbrennungstemperaturen, und darüber hinaus wird der Motor noch weiter entdrosselt.

Schmieröl

Monovalenter Erdgasbetrieb erfordert den Einsatz von Gasmotorenölen, die eine hohe thermische Stabilität und eine geringe Oxidations- bzw. Nitrationsneigung aufweisen. Das Fehlen von reinigenden Detergenzien erfordert entsprechende Additivierung.



Abbildung 9: Erdgasbetriebener Abrollkipper, Abfallwirtschaftsbetrieb München

1.4 Betankung

Für die Betankung von schweren Nutzfahrzeugen mit Erdgas müssen Tankstellen mit entsprechendem Angebot vorhanden sein, hier sind spezielle leistungsfähige Tankstellen nötig. Eine leistungsfähige Tankstelle muss folgende Kriterien erfüllen: Sie muss über eine ausreichend leistungsfähige Verdichtungsanlage (etwa 250 bar) und über einen ausreichend großen Hochdruckspeicher (etwa 250 bar) verfügen, um mehrere schwere Nutzfahrzeuge mit einem Tankvolumen von ca. 600 Litern hintereinander zügig betanken zu können. Die Tankstelle sollte mit Erdgasbetankungsanschlüssen einmal für PKW und einmal für schwere Nutzfahrzeuge (Schnellbetankungsanschluss nach ISO 14469) ausgestattet sein. Aufgrund der begrenzten Speicherfähigkeit der schweren Nutzfahrzeuge insbesondere im Abfallbereich ist überdies tägliches Tanken nötig.

Deutschland hat ein – bisher nur für PKW und leichte Nutzfahrzeuge – ausgebautes CNG-Tankstellennetz mit rund 900 Tankstellen⁹, während ein Netz für LNG überhaupt erst im Aufbau begriffen ist. Laut Angaben der Deutschen Energieagentur (DENA) soll über die LNG-Taskforce ein Netz von 200 LNG-Tankstellen in Deutschland geschaffen werden. Sechs LNG-Tankstellen sind hierzulande bereits in Betrieb. Bis Ende 2020 soll die hiesige Infrastruktur auf etwa 40 Tankstellen ausgebaut werden.¹⁰ Eine Versorgung der Hauptverkehrsrouten mit LNG-Tankstellen ist bisher nicht erfolgt, sodass die Tankstelleninfrastruktur erst maßgeblich ausgebaut werden muss.



Abbildung 10: Erdgas-Tank, Abfallwirtschaftsbetrieb München

Im Ergebnis muss jeder Betrieb, der erdgasbetriebene schwere Nutzfahrzeuge einsetzen will, eine eigene adaptierte Tankstelleninfrastruktur schaffen bzw. ein auf seine Bedürfnisse abgestimmtes externes (öffentliches) Angebot an zusätzlichen Tankeinrichtungen erwirken.

9 https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Themen_und_Projekte/Mobilitaet/Initiative_Erdgasmobilitaet/LNG_Taskforce_Zukunft_LNG.pdf

10 <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2019/lng-tankstellen-neue-karte-zeigt-standorte/>

1.5 Abgas

Erdgasfahrzeuge zeichnen sich durch niedrige CO₂-Emissionen aus, bedingt durch das günstige Wasserstoff-/Kohlenstoffverhältnis (H/C-Verhältnis) von nahezu 4 : 1 (Benzin 2,3 : 1) und die daraus resultierende Verschiebung der Hauptverbrennungsprodukte CO₂ und H₂O. Eine stöchiometrische Verbrennung bei $\lambda = 1$ sorgt für hohe Leistung bei niedrigen Schadstoffemissionen. Abgesehen von der nahezu partikelfreien Verbrennung entstehen in Verbindung mit einem geregelten Dreiwegekatalysator nur sehr geringe Emissionen der Schadstoffe NO_x, CO und NMHC („non-methane hydrocarbon“: Summe aller Kohlenwasserstoffe abzüglich Methan). Der Dreiwegekatalysator stellt eine kosteneffiziente und einfache Lösung der Abgasnachbehandlung dar, die beispielsweise im Magerbetrieb deutlich komplexer ausfallen würde. Aufgrund der komplexeren Oxidation von Methan zeichnen sich die Katalysatoren für den Erdgasbetrieb allerdings um einen drei- bis viermal höheren Edelmetallgehalt aus. Um die Methankonvertierung sicherzustellen, ist das schmale Betriebsfenster der stöchiometrischen Verbrennung leicht in den Fettbetrieb verschoben. Thermische Alterung des Katalysators, zum Beispiel durch Überhitzung im langzeitigen Vollastbetrieb, kann eine starke Verschlechterung der Methan-Konvertierungsrate zur Folge haben.

Erdgasfahrzeug (H-Gas) im Vergleich zum Benzinfahrzeug:

- bis zu 25 % weniger Kohlendioxid (CO₂) (Kohlendioxidemissionen pro Liter)
- bis zu 75 % weniger Kohlenmonoxid (CO)
- bis zu 60 % weniger reaktive Kohlenwasserstoffe (HC)

Erdgasfahrzeug (L-Gas) im Vergleich zum modernen Dieselfahrzeug:

- bis zu 5 % weniger Kohlendioxid (CO₂)
- bis zu 50 % weniger Kohlenmonoxid (CO)
- bis zu 80 % weniger reaktive Kohlenwasserstoffe (HC)
- bis zu 70 % weniger Stickoxide (NO_x)
- bis zu 99 % weniger Rußpartikel bzw. Feinstaubemission

Bei einer Beimischung von – entstehungsneutralem – Biomethan kann eine weitere Verbesserung der Klimaschutzwirkung erzielt werden.

Im Magerbetrieb sind die NO_x-Emissionen höher als bei $\lambda = 1$ -Betrieb mit Dreiwegekatalysator. Dieser Nachteil lässt sich genau wie beim Benzinbetrieb über aufwendigere Abgasnachbehandlungsmethoden (zum Beispiel NO_x-Speicher-Kat) größtenteils kompensieren.

1.6 Reichweite

Die Reichweite ist gegenüber herkömmlichen Dieselfahrzeugen eingeschränkt – durch den nur begrenzt zur Verfügung stehenden Bauraum für den Erdgasspeicher. Bei Müllfahrzeugen muss ein vorhandener 150-l-Tank durch mindestens einen 600-l-Erdgas-Tank ersetzt werden, wenn annähernd die gleiche Reichweite erzielt werden soll.

Exkurs: Steuerliche Begünstigung

Besonders durch aktuell geltende Steuervergünstigungen (bis 2026) sind die Kraftstoffkosten pro gefahrenem Kilometer bei Erdgasantrieben im Vergleich zu konventionellen Antrieben günstiger. Seit der Einführung einer CO₂-Steuer am 1.1.2021 wird eine Tonne CO₂ allerdings mit 25 Euro bepreist. Dieser Wert steigt bis zum Jahr 2025 auf 55 Euro. Biogas ist von dieser Steuer ausgenommen.

2. Marktverfügbarkeit

Im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge sind erdgasbetriebene Fahrzeuge verfügbar, zum Teil weiten die Hersteller ihre Angebote diesbezüglich aus, vereinzelt werden aber auch erdgasbetriebene Serien wieder eingestellt. Hintergrund hierfür sind unterschiedliche Strategien der Hersteller in Hinblick auf Fahrzeuge mit alternativen Antrieben.

In Deutschland sind aktuell ca. 100.000 CNG-Fahrzeuge zugelassen (insgesamt zugelassene Kfz in Deutschland: 57,3 Millionen).

An ungefähr 820 von ca. 14.000 Tankstellen kann in Deutschland aktuell CNG getankt werden, über 50 % dieser Tankstellen verfügen über 100 %iges Biomethan.

Mit Transportleitungs- und Verteilnetzen in einer Länge von über 500.000 km ist Deutschland flächendeckend mit Erdgas versorgt. Darüber hinaus verfügt Deutschland über die weltweit viertgrößte Speicherinfrastruktur für Erdgas.

Schätzungen zufolge ist hierzulande ein theoretisches Reststoffpotenzial vorhanden, um ca. 8 Milliarden Kubikmeter Biomethan zu produzieren. Biomethan kommt dabei wegen seiner ortsungebundenen, kontinuierlichen Verfügbarkeit eine stabilisierende Wirkung in der Energieversorgung zu. Die Rolle fossilen Erdgases im Kontext der Erreichung der Klimaziele und der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie bleibt abzuwarten.

3. Derzeitiger Einsatz in der kommunalen Abfallwirtschaft und Stadtreinigung

Aufgrund der geringen Reichweite im Nutzfahrzeugbereich hat sich der Erdgasbetrieb fast ausschließlich bei lokalen Flotten im öffentlichen Nahverkehr etabliert (zum Beispiel Busse und Taxis). Auch im Bereich der Abfallsammlung und der Stadtreinigung können erdgasbetriebene Fahrzeuge gut eingesetzt werden. Für die Zurücklegung von längeren Strecken sind andere Antriebe besser geeignet, wenn die erforderliche Tankstelleninfrastruktur nicht ausreichend verdichtet zur Verfügung steht (zu den Spezifikationen der Tankinfrastruktur siehe 1.4 Betankung).

Durch die eigene Biogasgewinnung aus Bioabfällen bieten CNG-Antriebe in der Abfallwirtschaft eine bedeutende Alternative zu konventionellen Antrieben. Im kommunalen Einsatz spielen Reichweitennachteile gegenüber dieselbetriebenen Fahrzeugen nur eine geringe Rolle. Ein Nachteil besteht im höheren Wartungsaufwand von CNG-Fahrzeugen. Eine Amortisierung der höheren Fahrzeugsystemkosten und die Ausnutzung der energetischen Vorteile von Erdgas müssen durch Weiterentwicklungen des Antriebs und daraus resultierende Wirkungsgradverbesserungen gewährleistet werden.

Teil 5: Referenz – Mineraldiesel als Kraftstoff

In diesem Kapitel soll in geraffter Form die Technik des Dieselmotors vorgestellt werden. Damit soll der Verbrennungsmotor hier nur als Vergleichswert zu den alternativen Antriebsformen, die Gegenstand dieser Infoschrift sind, dienen.

1. Technische Beschreibung

Der Dieselmotor ist eine Verbrennungskraftmaschine, die besondere Vorzüge aufweist. Die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit sind durch die Verwendung preisgünstiger Kraftstoffe von geringer Feuergefährlichkeit hoch. Durch die besondere Form des Verbrennungsraums wird das unter hohem Druck eingespritzte Kraftstoff-Luftgemisch gut verwirbelt, bevor es zündet. Mit aufwendiger elektronischer Steuerungs- und Regeltechnik wird die Einspritzung optimal an die Betriebszustände angepasst, und die Emissionen werden dadurch niedrig gehalten.

Motorische Maßnahmen – Brennraumgestaltung

Die Abgasemissionen werden von der Brennraumform beeinflusst. Motoren mit unterteiltem Brennraum (Vor- und Wirbelkammer) emittieren weniger Stickoxide als Motoren mit direkter Einspritzung. Motoren mit direkter Einspritzung weisen aber einen geringeren Kraftstoffverbrauch auf. Eine sorgfältige Abstimmung der Luftbewegungen im Brennraum auf die Kraftstoffstrahlen fördert die Vermischung von Kraftstoff und Luft und damit eine weitgehend vollständige Verbrennung. Eine sichere Entflammung setzt eine ausreichend hohe Verdichtungstemperatur voraus.

Kraftstoffeinspritzung

Einspritzbeginn, Einspritzverlauf und Zerstäubung des Kraftstoffs beeinflussen die Verbrennungsreaktion und damit die Schadstoffemissionen. Der Einspritzbeginn bestimmt im Wesentlichen den Verbrennungsbeginn. Späte Einspritzung vermindert NO_x-Emissionen. Zu späte Einspritzung erhöht die HC-Emissionen und den Kraftstoffverbrauch. Eine Abweichung des Einspritzbeginns um 10 KW (Kurbelwellenwinkelmarke) kann die NO_x- oder die HC-Emissionen um bis zu 15 % erhöhen.

Diese hohe Empfindlichkeit verlangt einen genau eingestellten Einspritzbeginn. Der optimale Einspritzbeginn lässt sich mit elektronischer Regelung exakt einhalten. Eine noch höhere Genauigkeit lässt sich durch Messung des Spritzbeginns erreichen.

Kraftstoff, der nach Verbrennungsende in den Brennraum gelangt, kann unverbrannt in den Auspuff gelangen und so die Kohlenwasserstoffemission erhöhen. Deshalb schließen Einspritzdüsen zwischen ihrem Dichtsitz und den Spritzlöchern nur ein möglichst kleines Kraftstoffvolumen ein. Sitzlochdüsen dichten bis zum Spritzloch ab. Darüber hinaus ist ein sogenanntes „Nachspritzen“ unbedingt zu vermeiden. Fein zerstäubter Kraftstoff fördert die Verbrennung von Luft und Kraftstoff. Dies trägt zu einer Verringerung der Kohlenwasserstoff- und Partikelemissionen bei. Hoher Einspritzdruck und eine optimale Geometrie der Spritzlöcher bewirken eine feine Zerstäubung. Die maximale Kraftstoffmenge muss entsprechend der angesaugten Luftmasse so begrenzt werden, dass der Motor keinen sichtbaren Ruß erzeugt. Das erfordert einen Luftüberschuss von mindestens 10–20 % ($\lambda = 1,1-1,2$).

Temperatur der Außenluft

Mit zunehmender Temperatur der angesaugten Luft steigt die Verbrennungstemperatur und damit auch die NO_x-Emission. Bei aufgeladenen Motoren ist die Ladeluftkühlung (intercooling) eine wirksame Maßnahme zur Verminderung der NO_x-Bildung.

Abgasrückführung (AGR)

Zur Verminderung des Stickstoffausstoßes wird bei Dieselmotoren die AGR eingesetzt. Die Stickoxide bilden sich bei hohen Brennraumtemperaturen und Sauerstoffüberschuss. Um den Sauerstoffanteil der Ansaugluft zu verringern, wird Abgas beigemischt. Das hohe Wärmeaufnahmevermögen des Abgases, besonders des Kohlendioxids, bewirkt die Absenkung der Verbrennungstemperatur. Die Abgasrückführungsrate kann bei Vorkammermotoren bis zu 30 % und bei Direkteinspritzermotoren bis zu 60 % betragen. Bei einer zu großen zurückgeführten Abgasmenge steigen die HC-Emissionen, die Abgasmenge muss also so begrenzt werden, dass noch eine ausreichende Sauerstoffmenge für die Verbrennung zur Verfügung steht.

Abgasnachbehandlung

Edelmetallkatalysatoren in der Abgasanlage verringern die HC-Emission. Dabei verbrennt ein Teil der gasförmigen und der am Ruß (Partikeln) angelagerten Kohlenwasserstoffe mit dem im Abgas enthaltenen Sauerstoff. Katalysatoren, die bei Ottomotoren die NO_x-Emission verhindern, arbeiten nur bei Sauerstoffmangel oder bei einem genau stöchiometrischen Mischungsverhältnis ($\lambda = 1,0$) der Reaktionspartner. Dieselmotoren können aber wegen des heterogenen Kraftstoffgemisches nur mit Luftüberschuss ($\lambda > 1$) betrieben werden. Deshalb wirken solche Katalysatoren bei Dieselmotoren nicht. Zur Verringerung der Feststoffemission (Partikel) werden deshalb Filter in die Abgasanlage eingebaut.

Schwere Nutzfahrzeuge

Dieselbetriebene schwere Nutzfahrzeuge müssen in Europa die durch die Richtlinie 91/542/EWG und ihre Nachfolgerichtlinie definierten Abgasnormen einhalten. Hier werden Grenzwerte festgelegt für Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoff (HC), Stickoxide (NO_x) und Partikel in Abgasen. Seit dem 31. Dezember 2012 (Typprüfung) bzw. ab dem 31. Dezember 2013 (Serienprüfung) gilt die Abgasnorm Euro VI. Mit Euro VI wurden die Grenzwerte für LKW bei Partikeln um etwa 67 % und bei Stickstoffoxiden sogar um 80 % gegenüber Euro V gesenkt. Damit verringert sich der Grenzwert von 2,0 g/KWh (Euro V) auf 0,4 g/KWh (Euro VI), bei Partikeln verringerte sich der Grenzwert von 0,02 g/KWh auf 0,01 g/KWh. Die EU-Kommission bereitet derzeit einen Vorschlag für

die Euro-VII-Norm vor. Mit dessen Veröffentlichung wird gegen Ende des Jahres 2021 gerechnet, ein Inkrafttreten ist um das Jahr 2025 zu erwarten.¹¹

Probleme im Motorenbau

Maßnahmen zur Senkung der Stickoxid-Emissionen verursachen einen Anstieg der Partikelmenge und des Kraftstoffverbrauchs. Soll aber der Verbrauch gesenkt werden, führt dies zu einer Erhöhung der Stickoxid-Emissionen.

Bei der Verbrennung des Dieselmotors durch Selbstentzündung in einer heterogenen Umgebung aus Luft und Kraftstoff werden im Brennraum Spitzentemperaturen von 2.400 °C gemessen. Bei diesen hohen Temperaturen kommt es zur Entstehung von Stickoxiden. Um die neuen Normen technisch umzusetzen, haben die LKW-Hersteller zwei Möglichkeiten:

- Innermotorische Maßnahmen – hierzu zählen die Optimierung des Einspritzverlaufs sowie die Abgasrückführung.
- Nachmotorische Maßnahmen – hierzu zählen das SCR-Verfahren, NO_x-Speicherkatalysatoren und Partikelfilter.

Die führenden LKW-Hersteller haben sich traditionell im Wesentlichen für zwei Varianten entschieden:

a) Abgasrückführung (AGR)

Hierbei wird ein Teil des Abgases gekühlt und in die Ansaugluft zurückgeführt, wodurch eine Absenkung der Verbrennungsspitzen temperaturen erreicht wird. Allerdings reicht die Abgasrückführung allein nicht mehr, um die strengen Euro-VI-Grenzwerte einzuhalten. Für die Einhaltung der Euro-Normen I–IV war dies noch ausreichend. Deswegen wird zur Euro-VI-Konformität die Abgasrückführung mit der SCR-Technik (siehe nachfolgend) verbunden.

b) Selective Catalytic Reduction (SCR-Verfahren)

Für das SCR-Verfahren haben sich die meisten europäischen LKW-Hersteller entschieden. Es nutzt Ammoniak, das an Bord des Fahrzeugs aus dem Additiv AdBlue (Harnstofflösung) gewonnen wird. AdBlue wird dosiert in den Abgasstrom eingespritzt und sorgt im Katalysator, der in dem Schalldämpfer integriert ist, für eine chemische Reaktion. Hierbei werden die Stickoxide in unschädlichen Stickstoff und Wasser umgewandelt. Das Mengenverhältnis von benötigtem AdBlue zu Diesel liegt bei ca. 5 : 100. Die SCR-Technik kann ausreichen, um die Euro-VI-Grenzwerte einzuhalten, häufig wird sie aber mit der Abgasrückführung verbunden.

11 <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/abgasnorm-euro-vii-macht-schwere-lkw-bis-zu-4700-euro-teurer-2891744.html>



Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Übersicht über die politischen Rahmenbedingungen und das derzeit vorhandene Angebot an Fahrzeugen mit alternativen Antrieben hat gezeigt, dass im Mobilitätssektor allgemein und auch im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge ein klarer Trend weg vom herkömmlichen Verbrennungsmotor hin zu alternativen Antrieben vorherrscht. Der VKU begrüßt hierbei, dass der Trend zu „sauberen“ Fahrzeugen im Sinne der Clean Vehicles Directive durch Gesetzgebung und Förderung gezielt gefördert und beschleunigt wird. Somit ist zu erwarten, dass kurz- bis mittelfristig das Angebot an „sauberen“ Fahrzeugen in Serienreife deutlich höher sein wird als derzeit.

Anders als PKW, Busse oder sonstige leichte Nutzfahrzeuge weisen jedoch schwere Nutzfahrzeuge, die für die Abfallsammlung und Straßenreinigung eingesetzt werden, sehr spezifische Anforderungen auf. In diesem Bereich gibt es noch nicht für alle alternativen Antriebsarten derzeit ausreichend verfügbare Angebote, was auch durch die klare Begrenztheit des Marktes bedingt sein dürfte. Im Bereich der leichten Nutzfahrzeuge, die für bestimmte Aufgaben der Abfallsammlung und verstärkt in der Straßenreinigung eingesetzt werden, gibt es schon ein deutlich größeres Produktangebot. Der VKU ist schon aufgrund der neuen gesetzlichen Mindestquoten für „saubere“ Fahrzeuge zuversichtlich, dass in absehbarer Zeit ein ausreichendes Angebot für Abfallsammelfahrzeuge bei allen alternativen Antriebsarten erreicht wird. Voraussichtlich werden derzeit als „Scharniertechnik“ zwischen herkömmlichen und alternativen Antrieben anerkannte Treibstoffe wie Erdgas zugunsten der als emissionsfrei einzustufenden elektrischen Antriebe (Batterie und Brennstoffzelle) langfristig an Bedeutung verlieren. ►

Maßgebliche Parameter, die für die wirtschaftliche Bewertung von Abfallsammelfahrzeugen herangezogen werden, sind Nutzlast und Reichweite. Um Fahrzeuge mit alternativen Antrieben in diesem Bereich sinnvoll einsetzen zu können, ist daher von den Herstellern bzw. technischen Entwicklern zu fordern, dass die alternativ angetriebenen Fahrzeuge in Nutzlast und Reichweite mit den Fahrzeugen, die mit Verbrennungsmotor betrieben sind, vergleichbar sind. Hier gibt es derzeit etwa bei batterieelektrischen Fahrzeugen noch Einschränkungen, die aber durch technische Weiterentwicklungen (höhere Batteriekapazitäten, effizientere Ladevorgänge) künftig abnehmen dürften.

Wesentlich sind bei der weiteren Beschleunigung der Umstellung auf Elektromobilität bzw. Brennstoffzellenantriebe folgende Besonderheiten für die kommunalen Betriebe und deren Eigentümer (Städte, Kreise etc.) zu beachten: Die Entsorgungssicherheit muss zu sozialverträglichen Gebühren gewährleistet bleiben. Der Einsatz von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben darf nicht dazu führen, dass die Abfallentsorgung zwangsläufig teurer wird.

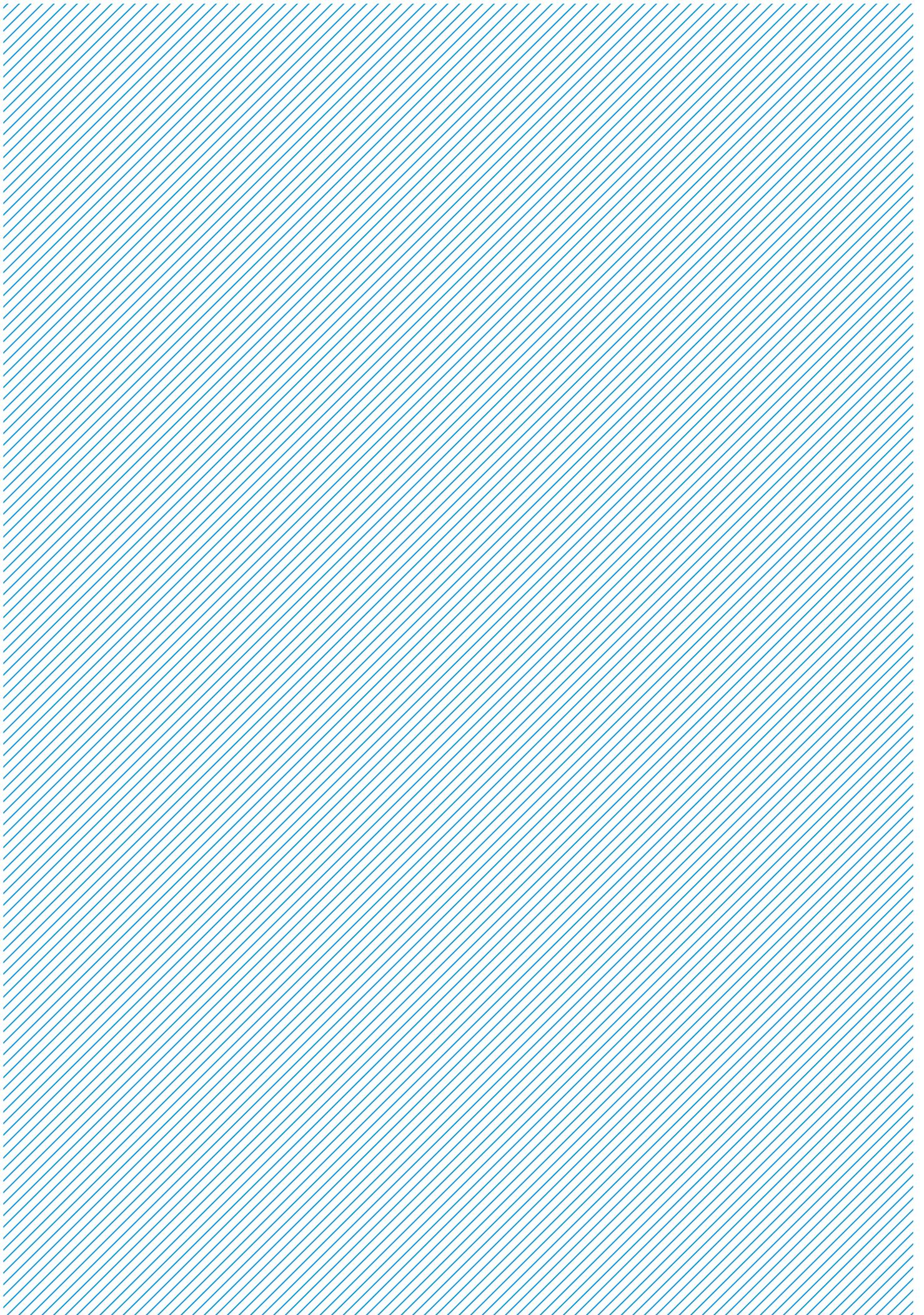
Gegenüber den politischen Entscheidungsträgern und zuständigen Behörden ist daher vor allem die auf absehbare Zeit weiterhin nötige finanzielle Förderung der Anschaffung von schweren Nutzfahrzeugen mit alternativen Antrieben im Bereich der Abfallsammlung und der Straßenreinigung zu betonen. Aufgrund der derzeit geringen Stückzahl an Abfallsammelfahrzeugen, die zum Beispiel elektrisch oder mit Brennstoffzelle betrieben werden, sind die Preise für diese Fahrzeuge noch exorbitant hoch, zum Beispiel Faktor 3 im Vergleich mit den traditionellen Dieselfahrzeugen. Es ist nicht nachzuvollziehen, dass die kommunalen Unternehmen der Abfallwirtschaft und Stadtreinigung allein über Gebühren diese erheblichen Mehrkosten finanzieren sollten. Daher ist es unbedingt nötig, dass parallel zur Umsetzung der CVD-Richtlinie Fördermaßnahmen geschaffen oder aufrechterhalten werden, die die entsprechende Preismehrbelastung annähernd ausgleichen. Die Verpflichtung zur Einhaltung von Mindestquo-

ten bei der Beschaffung von Fahrzeugen darf nicht dazu führen, dass Förderungen eingestellt werden. Andernfalls würden sich die Vorgaben der CVD-Richtlinien unter Umständen auf das Gebot der Gebührenstetigkeit auswirken und im Übrigen eine grobe Ungleichbehandlung der Auftraggeber der öffentlichen Hand gegenüber privaten Betrieben zur Folge haben.

Wie können sich die kommunalen Unternehmen über die jeweils aktuellen Fördermöglichkeiten im Bereich der nachhaltigen Mobilität auf dem Laufenden halten? Unter anderem informiert die NOW GmbH laufend über aktuelle Förderungen des Bundes über ihren abonnierbaren Newsletter.

Wesentlich für fast alle alternativen Antriebe, seien es Gasantriebe, elektrische Antriebe oder Wasserstoffantriebe, ist die spezifische Lade- und Tankinfrastruktur, die der kommunale Abfallwirtschaftsbetrieb für seinen Fuhrpark entweder exklusiv für sich selbst bzw. in Zusammenarbeit mit anderen Betrieben aufbauen oder im öffentlichen Raum in notwendiger Kapazität erschließen muss. Hierbei müssen Vorgaben für Schnellladeinfrastruktur (schnelles Zwischenladen) gemacht werden wie für das Laden über Nacht. Auch in diesem Bereich ist es nötig, dass Fördermöglichkeiten weiterhin und langfristig zur Verfügung stehen.

Mit Blick auf die Erfüllung der Mindestquoten, die von der Clean Vehicles Directive vorgegeben sind und die ab 2. August 2021 erfüllt werden müssen, muss von der ersten Periode an genau analysiert werden, welche Wirtschaftssektoren einerseits und welcher Typus von Unternehmen (Unternehmensgröße, Betriebe im städtischen oder ländlichen Bereich etc.) andererseits sich insbesondere mit der Mindestquotenerfüllung schwertun. Darauf aufsetzend sollten zielgerichtete Maßnahmen seitens der Politik zur Unterstützung dieser Unternehmen beziehungsweise Wirtschaftssektoren ergriffen werden, damit möglichst alle Wirtschaftssektoren in die Lage versetzt werden, zu der Transformation zur emissionsarmen bzw. emissionsfreien Mobilität beizutragen.



04 ANHANG

Fragen und Antworten zum Gesetz zur Umsetzung der Clean Vehicles Directive (Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz)

Das Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2019/1161 vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge sowie zur Änderung vergaberechtlicher Vorschriften (Clean Vehicles Directive, CVD) wurde am 14. Juni 2021 im Bundesgesetzblatt veröffentlicht.

Mit dem Gesetz, im Folgenden Saubere-Fahrzeuge-Beschaffungsgesetz – SaubFahrzeugBeschG, werden bei der öffentlichen Auftragsvergabe erstmals verbindliche Mindestziele für emissionsarme und -freie PKW sowie leichte und schwere Nutzfahrzeuge wie LKW und Busse im ÖPNV, für die Beschaffung vorgegeben. Die Vorgaben gelten ab dem 2. August 2021.

In der ersten Periode bis zum 31.12.2025 müssen bei Neubeschaffungen 38,5 Prozent der PKW und leichten Nutzfahrzeuge, 10 Prozent der LKW und 45 Prozent der Busse „sauber“ sein, anschließend erhöhen sich die Quoten in der zweiten Periode vom 01.01.2026 bis 31.12.2030.

In diesem Dokument beantworten wir Ihnen für die Praxis wichtige Fragen:

1. Wer wird durch das SaubFahrzeugBeschG verpflichtet?

Durch das Umsetzungsgesetz werden **öffentliche Auftraggeber und Sektorenauftraggeber** verpflichtet. Die Definition des öffentlichen Auftraggebers findet sich in § 2 Nr. 1 SaubFahrzeugBeschG:

- **„öffentlicher Auftraggeber“** ist demnach ein öffentlicher Auftraggeber im Sinne von § 99 Nummer 1 bis 3 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB). Die Kommune selbst ist ein öffentlicher Auftraggeber nach § 99 Nr. 1 GWB. Dazu zählen „Gebietskörperschaften sowie deren Sondervermögen“. Das betrifft die Kommune einschließlich ihrer rechtlich unselbstständigen Einheiten, wie z. B. Ämter, Regiebetriebe oder auch Eigenbetriebe, die zwar den Status eines Sondervermögens haben, aber nicht über eine eigene Rechtspersönlichkeit verfügen.
- **Kommunale Stellen**, die über eine eigene Rechtspersönlichkeit verfügen, wie z. B. eine GmbH der kommunalen Abfallwirtschaft oder eine kommunale Anstalt öffentlichen Rechts, fallen dagegen unter die Definition des öffentlichen Auftraggebers nach § 99 Nr. 2 GWB. Diese Stellen sind jeweils eigenständige öffentliche Auftraggeber und werden bei der Berechnung der Beschaffungsquoten auch gesondert erfasst. Bei Stellen nach § 99 Nr. 2 GWB ist immer maßgeblich, dass diese mehrheitlich durch Gebietskörperschaften unmittelbar oder mittelbar beherrscht sind und dass sie „Aufgaben im Allgemeininteresse nichtgewerblicher Art“ durchführen.
- **Verbände**, deren Mitglieder unter § 99 Nr. 1 oder Nr. 2 fallen, sind öffentliche Auftraggeber im Sinne von § 99 Nr. 3. Kommunale Zweckverbände fallen damit unter den Begriff des öffentlichen Auftraggebers nach § 99 Nr. 3 GWB.
- **Sektorenauftraggeber** nach § 100 GWB sind insbesondere solche öffentlichen Auftraggeber, die in den Bereichen der Energie- und Trinkwasserversorgung oder des Verkehrs tätig sind.

2. Auf welche Sachverhalte sind die Mindestquoten für saubere Fahrzeuge anwendbar?

Die Mindestquoten gelten für zwei Grundsachverhalte:

- a.) Der öffentliche Auftraggeber beschafft direkt Fahrzeuge, die in den Geltungsbereich des SaubFahrzeugBeschG fallen.
- b.) Der öffentliche Auftraggeber vergibt Dienstleistungsaufträge (z. B. die Abfallsammlung gem. § 3 Nr. 3 iVm Anlage 2) an Dritte.

Beide Varianten sind in **§ 3 Abs. 1 und 3** geregelt:

- **§ 3 Nr. 1** regelt durch öffentliche Auftraggeber geschlossene Verträge über den Kauf, das Leasing oder die Anmietung von Straßenfahrzeugen, sofern die Auftraggeber zur Anwendung eines der folgenden Vergabeverfahren verpflichtet sind:
 - a) einem Vergabeverfahren nach der Vergabeverordnung oder
 - b) einem Vergabeverfahren nach der Sektorenverordnung.

Damit sind die üblichen Beschaffungen von Fahrzeugen (sei es durch Kauf, Leasing oder Anmietung) durch die kommunalen Unternehmen abgedeckt, solange für diese Vorgänge das Vergabeverfahren nach der Vergabeverordnung einzuhalten ist.

- **§ 3 Nr. 3** regelt von öffentlichen Auftraggebern vergebene Dienstleistungsaufträge über Verkehrsdienste gemäß der Tabelle der Anlage 2, sofern die Auftraggeber zur Anwendung eines der folgenden Vergabeverfahren verpflichtet sind:
 - a) einem Vergabeverfahren nach der Vergabeverordnung oder
 - b) einem Vergabeverfahren nach der Sektorenverordnung

Da in der Tabelle der Anlage 2 die Abholung von Siedlungsabfällen ausdrücklich erwähnt ist, unterfallen Drittbeauftragungen seitens der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger für die Abholung von Siedlungsabfällen dem Geltungsbereich des Umsetzungsgesetzes, sofern ein Vergabeverfahren nach der Vergabeverordnung durchzuführen ist.

3. Wer ist öffentlicher Auftraggeber bei nicht selbständigen kommunalen Einheiten, wie Eigen- und Regiebetrieb?

Ämter, Eigen- und Regiebetriebe sind keine rechtlich selbständigen Einheiten, insofern sind sie selbst keine öffentlichen Auftraggeber, sondern die Trägerkommune ist hier Auftraggeber nach § 99 Nr. 1 GWB. Somit sind die Beschaffungen entsprechend dem

SaubFahrzeugBeschG, die ein Eigen- oder Regiebetrieb tätigt, bei der Ermittlung der Mindestquoten aller Beschaffungen der Trägerkommunen mit zu berücksichtigen.

Kommunale Stellen, die über eine eigene Rechtspersönlichkeit verfügen, wie z. B. eine Stadtwerke-GmbH oder eine kommunale Anstalt öffentlichen Rechts, fallen dagegen unter die Definition des § 99 Nr. 2 GWB. Diese Stellen sind jeweils ein eigenständiger öffentlicher Auftraggeber und werden bei der Berechnung der Beschaffungsquoten auch gesondert erfasst. Gleiches gilt für einen Zweckverband, der öffentlicher Auftraggeber nach § 99 Nr. 3 ist.

4. Welche Fahrzeuge sind vom Geltungsbereich des Umsetzungsgesetzes erfasst?

Erfasst sind zunächst „leichte Nutzfahrzeuge“, also solche der Klassen **M1, M2 oder N1**, einschließlich PKW. Je Referenzzeitraum gilt für diese ein Mindestziel von **38,5% an sauberen Fahrzeugen**. Saubere Fahrzeuge sind dabei bezogen auf den CO₂-Ausstoß pro Kilometer wie folgt definiert:

- Im Referenzzeitraum vom **02.08.2021 bis 31.12.2025** gilt: **50 g CO₂/km**, 80 Prozent Luftschadstoffe (Prozentsatz der Emissionsgrenzwerte nach Real Driving Emissions, RDE)
- Im Zeitraum vom **01.01.2026 bis 31.12.2030** gilt: **0 g CO₂/km**, k. A. zu Luftschadstoffemissionen

Betroffen sind ferner „schwere Nutzfahrzeuge“, bei denen sich die Definition „saubere Fahrzeuge“ auf die eingesetzten alternativen Kraftstoffe (siehe nachfolgende Frage) bezieht:

- Im Referenzzeitraum vom **02.08.2021 bis 31.12.2025** gelten folgende Mindestquoten:
 - a) LKW der Fahrzeugklassen N2 und N3: **10 %**
 - b) Busse der Fahrzeugklasse M3: **45 %**
- Im Zeitraum vom **01.01.2026 bis 31.12.2030**:
 - a) LKW der Fahrzeugklassen N2 und N3: **15 %**
 - b) Busse der Fahrzeugklasse M3: **65 %**

Bei den Bussen der Fahrzeugklasse M3 gilt zusätzlich, dass die Hälfte der beschafften Busse emissionsfrei sein muss, d. h. diese Busse stoßen weniger als 1 g CO₂/km aus, z. B. Elektro- bzw. Brennstoffzellenfahrzeuge.

Nicht vom Geltungsbereich erfasst sind diverse Fahrzeuge, die im Bereich der Straßenreinigung (etwa Kehrmaschinen) oder im Winterdienst (Multi-Use-Fahrzeuge) eingesetzt werden (siehe Frage zu Ausnahmen unten).

5. Welche Kraftstoffe sind für die Klassen M3, N2 oder N3 erlaubt?

Als saubere Kraftstoffe laut Artikel 2 der AFID (Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe) gelten **bspw. Strom, Wasserstoff, Erdgas, synthetische Kraftstoffe, Biokraftstoffe**. Synthetische Kraftstoffe und Biokraftstoffe dürfen nicht mit konventionellen, fossilen Kraftstoffen gemischt werden.

6. Gelten PKWs und leichte/schwere Nutzfahrzeuge mit Hybridantrieben als „sauber“ im Sinne der Richtlinie?

Für PKWs und leichte Nutzfahrzeuge gilt, dass saubere Fahrzeuge die vom SaubFahrzeugBeschG definierten Emissionsgrenzwerte für CO₂ und Luftschadstoffgrenzwerte einhalten müssen (siehe Frage 4). Sofern Hybridfahrzeuge die konkret für die erste Periode festgelegten Grenzwerte einhalten, sind die Fahrzeuge als sauber zu betrachten. Ab der zweiten Periode ist ein 0-Gramm Ausstoß von CO₂ vorgesehen, womit dann beschaffte Hybrid-Fahrzeuge nicht mehr als „saubere Fahrzeuge“ gelten können.

Bei **schweren Nutzfahrzeugen wie LKW und Bussen** wird auf die Nutzung alternativer Kraftstoffe und Antriebe abgestellt. Das Umsetzungsgesetz bezieht sich in § 2 Ziffer 5 auf die aktuelle AFI-Richtlinie (2014/94/EU), die „alternative Kraftstoffe“ als Kraftstoffe oder Energiequellen definiert, die zumindest teilweise als Ersatz für Erdöl als Energieträger für den Verkehrssektor dienen und die zur Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen und die Umweltverträglichkeit des Verkehrssektors erhöhen können. Hierzu zählt unter anderem Elektrizität. **Die Definition umfasst demnach auch (von außen aufladbare) schwere Plug-in Hybridfahrzeuge als saubere schwere Nutzfahrzeuge, während nicht-aufladbare schwere Hybrid-Nutzfahrzeuge nicht den CVD-Mindestzielen als saubere schwere Nutzfahrzeuge angerechnet werden können.**

7. Wie sind die Mindestquoten definiert?

Es gelten die o. g. Quotenziele. Relevant ist, dass es sich um solche Ziele handelt, die **jeder öffentliche Auftraggeber** zu erfüllen hat. Der Gesetzgeber hat keine Bundesquote etabliert. Stattdessen sind die Länder ermächtigt, eigene Regelungen für die Umsetzung in ihrem Zuständigkeitsbereich mit etwaigen Ausnahmen zu erlassen. Landesregelungen werden, wenn überhaupt, erst nach Inkrafttreten des Gesetzes von den Ländern erlassen werden können. Gegenüber der EU-Kommission müssen die Quoten auf Bundesebene erreicht werden, hier wird also eine nationale Quote an die EU-Kommission gemeldet.

Es handelt sich bei den Mindestquoten, die den einzelnen öffentlichen Auftraggeber verpflichten, um **Periodenziele**. Demnach ist nicht bei jeder einzelnen Beschaffung auf die Einhaltung der Mindestquote zu achten. Vielmehr werden alle durch einen

öffentlichen Auftraggeber im Periodenzeitraum beschafften Fahrzeuge betrachtet und zur Quotenermittlung herangezogen.

8. Gibt es gesetzliche Ausnahmen von der Einhaltung der Mindestquoten?

Ja. Die Ausnahmen regelt § 4. Danach sind verschiedene Fahrzeuge von der Regelung ausgenommen.

Hierbei handelt es sich im Regelfall um **spezielle Fahrzeugarten** sowie insbesondere um solche, die **nicht zur Güter- oder Personenbeförderung geeignet sind, konstruiert und gebaut wurden**. Es genügt dabei, dass die Fahrzeuge zumindest auch für solche Zwecke konstruiert und gebaut wurden (**Multi-Use-Fahrzeuge**). Zu diesen Fahrzeugen gehören zum Beispiel **Straßeninstandhaltungsfahrzeuge, Kehrmaschinen und Fahrzeuge für den Einsatzzweck als Schneepflug**.

Neben der Ausnahme für bestimmte Busse sind auch folgende Fahrzeuge aus dem Geltungsbereich des Umsetzungsgesetzes ausgenommen: Fahrzeuge der Bundeswehr, Fahrzeuge, die für den Einsatz zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben, wie z. B. durch die Polizei des Bundes und der Länder, Ordnungskräfte, Rettungswesen, Feuerwehr, Zivil- oder Katastrophenschutz, Zollverwaltung, vorgesehen und angepasst sind sowie Fahrzeuge mit bestimmter Zweckbestimmung, wie gepanzerte Fahrzeuge sowie solche zum Transport von Verletzten und Kranken.

Im Rahmen der vorgesehenen Evaluierung soll die technische Weiterentwicklung auch von Fahrzeugen mit besonderen Merkmalen Berücksichtigung finden, mit dem Ziel, den etwaigen Fortbestand bzw. Wegfall der unverhältnismäßigen Belastung zu untersuchen.

Ferner gilt, dass die Mindestquoten nur für Beschaffungen bzw. Aufträge relevant sind, die in einem Vergabeverfahren nach Vergabeverordnung (bzw. nach Sektorenverordnung) getätigt werden. Der entsprechende Schwellenwert, der verpflichtend ein Vergabeverfahren nach Vergabeverordnung nötig macht, beträgt für Kommunen und kommunale Unternehmen für Dienstleistungs- und Lieferaufträge zurzeit 214.000 Euro (netto). Bei Beschaffungen in den Sektoren der Energie- und Trinkwasserversorgung sowie des Verkehrs ist ab dem dort geltenden Schwellenwert von 428.000 Euro (netto) die Sektorenverordnung anzuwenden. **Insofern spielen die Mindestquoten keine Rolle bei Beschaffungen, die unter diesen Schwellenwerten bleiben.**

9. Ab wann gilt die Mindestquote?

Die Quoten gelten ab dem **02.08.2021**. Es sind **keine Übergangsfristen** vorgesehen. Damit sind alle Ausschreibungen betroffen, die nach diesem Datum bekannt gemacht werden bzw. wurden.

Die Einhaltung der Mindestquote gilt damit nicht bei Ausschreibungen, die vor dem 02.08.2021 bekannt gemacht wurden, auch wenn der Zuschlag schon in der Periode, die ab dem 02.08.2021 zu laufen beginnt, erteilt wird.

Relevanter Zeitpunkt für die Quotenermittlung ist ansonsten die **Zuschlagserteilung im Ausschreibungsverfahren**. Alle im Periodenzeitraum beschafften Fahrzeuge (abgesehen von denen, die auf Grundlage einer vor dem 02.08.2021 bekannt gemachten Ausschreibung beschafft wurden, dazu unten) werden zur Berechnung/Erreichung der Quote herangezogen.

Ein **Rahmenvertrag**, dessen Bekanntmachung bereits vor dem 02.08.2021 veröffentlicht wird, fällt ebenfalls nicht in den Anwendungsbereich des Gesetzes. Wird ein Rahmenvertrag z. B. im Juli 2021 ausgeschrieben, sind die Pflichten zur Erfüllung der Quoten auch dann nicht zu beachten, wenn die erste Beschaffung aufgrund des Rahmenvertrages erst nach dem 02.08.2021 abgerufen wird.

10. Können die Quoten für leichte Nutzfahrzeuge mit den Quoten für schwere Nutzfahrzeuge verrechnet werden?

Nein. Eine Verrechnung ist nicht möglich. Die Mindestquoten für die definierten Gruppen von Fahrzeugklassen (d. h. M1, M2, N1 einerseits, M3, N2, N3 andererseits) müssen für sich eingehalten werden.

11. Muss der Fuhrparkbestand umgerüstet werden?

Nein. Die Quotenerfüllung richtet sich **ausschließlich an die neu beschafften Fahrzeuge**. Die bereits in der Fahrzeugflotte befindlichen Fahrzeuge werden grundsätzlich zur Berechnung der Mindestquoten nicht herangezogen (Ausnahme: freiwillige Umrüstung, siehe nächste Frage).

12. Können die Quoten durch Umrüstung bestehender Fahrzeuge erreicht werden?

Ja. Nachgerüstete Fahrzeuge können bei der Beurteilung der Einhaltung der Mindestziele für den Anteil sauberer leichter Nutzfahrzeuge, sauberer schwerer Nutzfahrzeuge oder emissionsfreier schwerer Nutzfahrzeuge an der Gesamtzahl beschaffter leichter und schwerer Nutzfahrzeuge berücksichtigt werden (§ 6 Abs. 7).

13. Was gilt, wenn für den jeweils definierten Einsatzbereich keine sauberen Fahrzeuge zur Verfügung stehen?

Hier muss genau geprüft werden. Ausschreibungen sollen nicht so eng formuliert werden, dass zu erwarten ist, dass mangels

Existenz (bestimmter Arten) sauberer Fahrzeuge kein Angebot abgegeben wird. **Regelmäßig sind in den jeweiligen Fahrzeugkategorien saubere Fahrzeuge auf dem Markt vorhanden.** Im schwereren Nutzfahrzeugsbereich sind etwa neben batterieelektrischen und wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen **auch Erdgasfahrzeuge** als sauber anerkannt. Für diese gibt es regelmäßig Angebote am Markt. Auch bei PKWs und leichten Nutzfahrzeugen ist das Angebot regelmäßig vorhanden.

Ansonsten gilt, dass nicht bei jeder Beschaffung die Quote eingehalten werden muss, sondern nur über alle Beschaffungen eines öffentlichen Auftraggebers in der jeweiligen Periode. D. h., einzelne Beschaffungen müssen die Quote nicht erfüllen, wenn andere Beschaffungen die Quote dann entsprechend übererfüllen, wodurch die Periodenquote erreicht wird (interner Ausgleich im Periodenzeitraum). Jedoch ist eine Untererfüllung der Quote für leichte Nutzfahrzeuge mit einer Übererfüllung der Quote für schwere Nutzfahrzeuge (oder umgekehrt) nicht möglich, siehe Frage 9.

14. Entfallen die Mindestquoten des SaubFahrzeug-BeschG Bieterschutz im Vergabeverfahren

Unternehmen haben nach § 97 Abs. 6 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) Anspruch darauf, dass die Bestimmungen über das Vergabeverfahren eingehalten werden. Zu den Bestimmungen über das Vergabeverfahren zählen neben dem GWB und den europäischen Vergaberichtlinien die Vergabeverordnung (VgV), die Sektorenverordnung (SektVO), die Konzessionsvergabeverordnung (KonzVgV) sowie der zweite Abschnitt der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB/A EU). Außervergaberechtliche Vorgaben sind im Vergabenachprüfungsverfahren grundsätzlich nicht zu prüfen und sind nur bei Vorliegen einer vergaberechtlichen Anknüpfungsnorm zu berücksichtigen.

Die Beschaffung eines Fahrzeuges oder einer Verkehrsdienstleistung, welche die Anforderungen des SaubFahrzeugBeschG nicht einhalten, verstößt aber weder unmittelbar gegen die Vorgaben des SaubFahrzeugBeschG noch gegen die o. g. Vorgaben des Vergaberechts. Denn einerseits kann die Quotenerfüllung noch zu einem späteren Zeitpunkt durch weitere Beschaffungen erreicht werden. Und andererseits ist die Einbeziehung umweltbezogener Kriterien im GWB optional ausgestaltet.

Sollte eine konkrete Beschaffung dazu führen, dass ein öffentlicher Auftraggeber seine Quoten nach dem SaubFahrzeugBeschG nicht mehr erfüllen kann, wäre dies zudem kaum im Wege eines Nachprüfungsverfahrens zu klären. Jedenfalls ließe sich nicht allein aus den Vergabeunterlagen eines bestimmten Beschaffungsvorganges erkennen, ob die Quoten nach dem SaubFahrzeugBeschG erfüllt werden oder nicht. Vielmehr müssten sämtliche entsprechenden Beschaffungsverfahren eines Referenzzeitraumes untersucht werden. Diese Aufgabe obliegt aber nicht den

Vergabekammern, sondern gegebenenfalls den für die Durchführung des SaubFahrzeugBeschG zuständigen Landesstellen.

Im Ergebnis entfalten die Mindestquoten des SaubFahrzeugBeschG nach der hier vertretenen Ansicht keinen Bieterschutz im Vergabeverfahren

15. Welche Stelle muss die Quoten nach dem SaubFahrzeugBeschG einhalten, wenn mehrere Kommunen bzw. kommunale Unternehmen den Erwerb von Fahrzeugen gemeinschaftlich organisieren und dafür eine eigene Gesellschaft gründen?

Die Pflicht zur Quotenerfüllung nach dem SaubFahrzeugBeschG betrifft öffentliche Auftraggeber und Sektorenauftraggeber. Eine Gesellschaft, die von mehreren öffentlichen Stellen ausschließlich zur Vereinfachung des Einkaufs gegründet und genutzt wird, dürfte aber selbst kein öffentlicher Auftraggeber sein. Eine Pflicht zur Anwendung des Vergaberechts durch die gemeinsame Einkaufsgesellschaft würde gleichwohl gem. § 4 der Vergabeverordnung bestehen.

Damit bleibt es dabei, dass die Kommunen/die kommunalen Unternehmen, die auch öffentlicher Auftraggeber sind, die Quoten nach dem SaubFahrzeugBeschG einhalten müssen. Es entspricht auch dem Sinn der Clean-Vehicles-Richtlinie, die Quoten auf die Stellen anzuwenden, denen letztendlich die Nutzung der Fahrzeuge bzw. der Verkehrsdienstleistungen zuzuordnen ist.

16. Kann der Zuschlag im Vergabeverfahren auch von anderen Kriterien abhängig gemacht werden als dem wirtschaftlichsten Angebot?

Der Zuschlag im Vergabeverfahren wird gem. § 127 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) auf das wirtschaftlichste Angebot erteilt. Maßgeblich ist dabei aber nicht ausschließlich der Angebotspreis.

Grundlage ist vielmehr eine Bewertung des öffentlichen Auftraggebers, ob und inwieweit das Angebot die vorgegebenen Zuschlagskriterien erfüllt. Das wirtschaftlichste Angebot bestimmt sich nach dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis. Zu dessen Ermittlung können neben dem Preis oder den Kosten auch qualitative, umweltbezogene oder soziale Aspekte berücksichtigt werden.

17. Was passiert, wenn kein Dienstleister die Anforderungen der jeweiligen Ausschreibung mit Blick auf die geforderten sauberen Fahrzeuge erfüllen kann?

Das SaubFahrzeugBeschG regelt den Umstand nicht, dass die Beschaffung von sauberen Fahrzeugen oder von entsprechenden

Dienstleistungen nicht möglich ist. Finden sich in einem konkreten Fall keine entsprechenden Angebote, muss der öffentliche Auftraggeber das betreffende Vergabeverfahren nach § 63 VgV aufheben und gegebenenfalls in einem neuen Vergabeverfahren versuchen, „konventionelle“ Fahrzeuge bzw. Verkehrsdienstleistungen zu beschaffen. Da das SaubFahrzeugBeschG nicht vorsieht, dass ausschließlich saubere Fahrzeuge bzw. Verkehrsdienstleistungen beschafft werden, ist der öffentliche Auftraggeber angehalten, die Erfüllung der Quoten bei einer weiteren Beschaffung zu erfüllen. Ist absehbar, dass die Quotenerfüllung nicht erfüllt werden kann, sollte dies mit der nach § 5 Abs. 2 SaubFahrzeugBeschG zuständigen Stelle des jeweiligen Bundeslandes abgesprochen werden.

18. Können vor August 2021 beschaffte saubere Fahrzeuge freiwillig für Berechnung der Mindestquoten der Periode August 2021–Dezember 2025 berücksichtigt werden?

§ 6 Abs. 1 SaubFahrzeugBeschG teilt den zeitlichen Anwendungsbereich in zwei feste Referenzzeiträume und zwar vom 02.08.2021 bis zum 31.12.2025 sowie vom 01.01.2026 bis zum 31.12.2030. § 10 SaubFahrzeugBeschG regelt zudem ausdrücklich, dass das Gesetz nur für Beschaffungen gilt, deren Auftragsbekanntmachung nach dem 2. August 2021 veröffentlicht wird oder bei denen nach dem 2. August 2021 zur Abgabe eines Angebotes aufgefordert wird. Frühere Beschaffungen können somit bei der Quotenermittlung nicht berücksichtigt werden.

19. Was gilt, wenn bei einer Beschaffung eines „konventionellen“ Fahrzeugs die Schwellenwerte der Vergabeverordnung nicht erreicht werden, dies aber der Fall wäre, wenn ein sauberes Fahrzeug ausgeschrieben würde?

Das Gesetz über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge sowie die zugrundeliegenden Richtlinien der Europäischen Union gelten nur für Beschaffungen, deren Auftragswerte den jeweils maßgeblichen vergaberechtlichen Schwellenwert erreichen. Für Beschaffungen, deren Auftragswerte unterhalb des maßgeblichen Schwellenwerts von 214.000 Euro netto (bzw. von 428.000 Euro netto im Sektorenbereich) liegen, sind lediglich die allgemeinen Vorgaben des Vergaberechts zu beachten. Zu beachten ist insbesondere § 3 der Vergabeverordnung. Diese Vorgabe regelt die Schätzung des Auftragswertes. Ausdrücklich untersagt wird es, durch das Vorgehen bei der Berechnung des Auftragswertes eine Umgehung der Vorgaben des Vergaberechts zu bewirken (z. B. durch Stückelung der zu beschaffenden Leistungen).

Die Festlegung des Beschaffungsbedarfs obliegt dem jeweiligen öffentlichen Auftraggeber. Bei der Erstellung der Leistungsbeschreibung nach § 121 GWB muss der öffentliche Auftraggeber alle anwendbaren rechtlichen Vorgaben berücksichtigen. Das Saub-

FahrzeugBeschG ist bei Beschaffungen im sog. Unterschwellenbereich aber grundsätzlich nicht anwendbar. Eine grundsätzliche Pflicht, auch im Unterschwellenbereich, saubere Fahrzeuge zu beschaffen besteht damit nicht.

20. Kann man auch einzelne Fahrzeuge über einen längeren Zeitraum, d. h. mittels mehrerer Vergabeverfahren, beschaffen, mit der Folge, dass das Vergaberecht mangels Erreichung der Schwellenwerte in den einzelnen Verfahren nicht zur Anwendung kommt oder wäre dies eine unzulässige Umgehung desselben?

Beschaffungen dürfen nicht mit der Absicht durchgeführt werden, die Vorgaben des Vergaberechts zu umgehen. Dies gilt insbesondere für die Schätzung des Auftragswertes, die in § 3 der Vergabeverordnung geregelt wird. So dürfen etwa einheitliche, zusammenhängende Beschaffungsvorgänge nicht in der Absicht in getrennte Vergabeverfahren aufgeteilt werden, den Auftragswert unter den jeweiligen Schwellenwert abzusenken. Bestehen allerdings sachliche Gründe für getrennte Beschaffungsverfahren, so spricht nichts gegen getrennte Beschaffungen, auch wenn dies zu einem Unterschreiten der Schwellenwerte führt. Jedenfalls dann, wenn vergleichbare Fahrzeuge jeweils separat in engem zeitlichen Zusammenhang durch denselben Auftraggeber beschafft werden sollen, wäre wohl eine stichhaltige Begründung für die separaten Beschaffungen erforderlich, um den Eindruck einer Umgehung des Vergaberechts zu widerlegen.

21. Gibt es Förderprogramme?

Es gibt auf **Bundes- wie auch auf Landesebene verschiedene Förderprogramme**, die bei der oftmals sehr teuren Beschaffung der Fahrzeuge grundsätzlich in Frage kommen können. Verschiedene Programme unterstützen auch die Implementierung der benötigten Infrastruktur.

Neue Förderrichtlinie für Nutzfahrzeuge mit alternativen Antrieben (KsNI)

Das Förderprogramm für batterie-, brennstoffzellen- und (Oberleitungs-)hybridelektrische Fahrzeuge, entsprechende Tank- und Ladeinfrastruktur sowie Machbarkeitsstudien des BMVI wurde Anfang August veröffentlicht.

Die Eckpunkte der Förderung im Überblick:

1. **Anschaffung** von neuen klimafreundlichen Nutzfahrzeugen der EG-Fahrzeugklassen N1, N2 und N3 sowie auf alternative Antriebe umgerüsteter Nutzfahrzeuge der EG-Fahrzeugklassen N2 und N3 in Höhe von **80 Prozent der Investitionsmehrausgaben** im Vergleich zu einem konventionellen Dieselfahrzeug,

2. Für den Betrieb der klimafreundlichen Nutzfahrzeuge erforderliche **Tank- und Ladeinfrastruktur in Höhe von 80 Prozent** der zuwendungsfähigen projektbezogenen Gesamtausgaben,
3. **Erstellung von Machbarkeitsstudien** zu Einsatzmöglichkeiten von klimafreundlichen Nutzfahrzeugen sowie der Errichtung bzw. Erweiterung entsprechender Infrastruktur in Höhe von 50 Prozent der zuwendungsfähigen projektbezogenen Ausgaben.

Die **Anträge** stehen Ihnen ab sofort im eService-Portal des BAG zum Download zur Verfügung (Kontoerstellung notwendig). Die Einreichung der Anträge ist in ausschließlich elektronischer Form über das **eService-Portal ab dem 16.08.2021 um 09:00 Uhr** möglich.



ogy.de/otur

Sie finden die Förderrichtlinie in der Anlage und weitere Informationen unter diesem BMVI-Link.



ogy.de/g9j3

Über weitere Förderprogramme informieren wir Sie auch auf unserer Webseite www.vku.de.

22. Welche Sanktionsmöglichkeiten gibt es, wenn ein öffentlicher Auftraggeber die Quoten nicht erfüllt?

Rechtliche Sanktionen **sieht das Gesetz derzeit nicht vor**. Momentan ist mit der jährlichen Berichtspflicht der Länder an den Bund und die Meldung Deutschlands an die EU-Kommission im Rahmen des Monitorings eine stete Überprüfung vorgesehen, die ggf. auch gesetzliches Eingreifen bei Nichterfüllung vermuten lässt. Unabhängig von dieser Frage ist jedoch durchaus ein steigender öffentlicher Druck zur Beschaffung sauberer Fahrzeuge zu bemerken. Die öffentliche Hand sollte in diesem Zusammenhang ihre **Vorbildfunktion nutzen** und eine entsprechende Beschaffung auch forcieren.

23. Gilt die Quote auch für Beschaffungen von geringen Stückzahlen?

Die Quote gilt immer dann, wenn die Beschaffungen in einem **Vergabeverfahren** getätigt werden. Sobald somit die **Schwellenwerte der Vergabe- oder Sektorenverordnung** erreicht sind, sind

die Fahrzeuge für die Quote heranzuziehen. Außerhalb von Vergebungsverfahren getätigte Fahrzeugbeschaffungen unterfallen dem Anwendungsbereich nicht. Unklar ist, was gilt, wenn innerhalb der Periode 2021–2025 von einem öffentlichen Auftraggeber insgesamt weniger als 10 Fahrzeuge beschafft werden und/oder von Dienstleistungsaufträgen tangiert sind, also die Quote Bruchteile < 1 ergeben würde. Hier könnte die Ansicht vertreten werden, dass dann die Quoten für den jeweiligen Auftraggeber nicht einschlägig sind. Ob diese Auffassung jedoch von den zuständigen Behörden bestätigt wird, bleibt abzuwarten.

24. Wie erhebt der einzelne öffentliche Auftraggeber seine erzielte Quote und meldet sie zwecks Ermittlung der bundesweiten Quote?

Der Gesetzgeber wird ermächtigt, eine **Rechtsverordnung** zu erlassen, die das genaue Prozedere der Meldung zur Quotenerfüllung regelt. Diese steht noch aus. Die Rechtsverordnung wird Fragen zur Erhebung und Erfassung von Daten sowie zur Ausgestaltung des Verfahrens der Datenerfassung und -erhebung klären, um die Vollständigkeit und Richtigkeit der Daten zu gewährleisten.

Die Standardformulare nach der **Datenbank TED** sowie auch die **elektronischen Formulare „eForms“** erfassen nicht abschließend die für das Monitoring der Mindestziele sowie für die Berichterstattung gegenüber der EU-Kommission erforderlichen Daten. Die Regelungen sollen harmonisierend zur Umsetzung der „e-Forms“ erfolgen.

Die Übermittlung an die Europäische Kommission wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie übernommen. Sie kann diese Übertragungspflichten mittels Rechtsverordnung auf eine andere Institution übertragen. In diesem Falle werden auch **Angaben zur Datenverarbeitung** benötigt, was in der o. g. Rechtsverordnung geregelt werden muss.

Bei Rückfragen oder Anmerkungen stehen Ihnen zur Verfügung:

Ina Abraham

Fachgebietsleiterin Öffentliches Recht

Telefon: +49 30 58580-137

E-Mail: abraham@vku.de

Nadine Gerks

Bereichsleiterin Grundsatz, Strategie, Digitales

Telefon: +49 30 58580-170

E-Mail: gerks@vku.de

Alexander Neubauer

Fachgebietsleiter Abfall- und Wertstofflogistik

Telefon: +49 30 58580-165

E-Mail: neubauer@vku.de

Christian Sudbrock

Fachgebietsleiter Wirtschaftsrecht

Telefon: +49 30 58580-136

E-Mail: sudbrock@vku.de



Fortbildung Servicetechniker/in Kommunalfahrzeuge (IHK)

Eine vollständig neue Generation Kommunalfahrzeuge rollt auf die Betriebshöfe. Zahlreiche Sensoren übernehmen unterschiedlichste Aufgaben und übermitteln eine Fülle digitaler Daten. Automatisierte Prozesse verarbeiten Daten, die das Fahrzeug an Schnittstellen bereitstellt und übermittelt, um Wirkungsgrade zu erhöhen und um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern. **Die Komplexität erreicht neue Dimensionen.** Dies erfordert in der Werkstatt geschultes Personal. Genau hier setzt die Fortbildung mit **IHK-Prüfung** „Servicetechniker/in Kommunalfahrzeuge (IHK)“ an.

Alternative Antriebe, Elektromobilität, Wasserstoff, Brennstoffzellen, Energiespeicher und Ladeinfrastruktur verbessern den Klimaschutz und erhöhen die Nachhaltigkeit. Mechatronikerinnen und Mechatroniker benötigen nachweisbare Qualifikationen z.B. im

Hochvoltbereich, um Kommunalfahrzeuge **mit alternativen Antrieben** warten und reparieren zu können. Sie erhalten in der Fortbildung alle erforderlichen Arbeitsberechtigungen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Fortbildung ist das **systematische Arbeiten mit Schaltplänen**. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer vertiefen ihre Kenntnisse in den Bereichen Hydraulik, Pneumatik und Elektrik. Dies spart Zeit und Kosten bei der Fehlersuche.

Teilen Sie unsere Begeisterung für Kommunalfahrzeugtechnik. Weiterführende Informationen zu den Inhalten, Terminen sowie zur Anmeldung finden Sie hier: www.servicetechniker.kommunalfahrzeuge.biz



VKU Verlag: Wir wissen wie es geht!

Hohe inhaltliche Branchenexpertise

gepaart mit modernem Design.

Als Verlagshaus des Verbandes kommunaler Unternehmen entwickeln wir Content rund um die Themen Energiewirtschaft, Wasser/Abwasser, Abfallwirtschaft, Breitband, Mobilität und Daseinsvorsorge.

Unser Plus: Journalistisches Können kombiniert mit einem direkten Zugang zu 1.500 kommunalen Unternehmen in Deutschland. Wir bieten breites Branchenwissen und überzeugen mit hoher Qualität.

Wir kennen die Zielgruppe wie kein zweiter und wissen, welche Themen und welche Tonalität verfangen. Gern stehen wir Ihnen mit unserem **Know-how in Redaktion und Gestaltung** zur Seite.

Mehr zu unserem Angebot finden Sie auf unserer Webseite:

www.vku-verlag.de



KONTAKT

VKU Verlag GmbH
Invalidenstraße 91
10115 Berlin
Fon +49 30 58580-0
info@vku-verlag.de



IMPRESSUM

Herausgeber

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU)
Invalidenstraße 91, 10115 Berlin
Fon +49 30 58580-0, Fax +49 30 58580-100
www.vku.de, info@vku.de

Gestaltung und Realisation

VKU Verlag GmbH | Corporate Media
Invalidenstraße 91, 10115 Berlin
Fon +49 30 58580-850

Bildnachweis

Titel: © Siwakorn/stock.adobe.com
Seite 11: © Dagmar Richardt/stock.adobe.com
Seite 35: © proslgn/stock.adobe.com

Autoren

Thomas Maas, Stadtreinigung Hamburg
Reinhold Bauer, Abfallwirtschaftsbetrieb München
Anton Klehr, Abfallentsorgungs-Gesellschaft Ruhrgebiet
Thomas Kracke, AWISTA, Düsseldorf
Peter Skibbe, Kommunalservice Jena
Volker Steiner, Abfallentsorgungs- und Stadtreinigungs-
betrieb der Stadt Chemnitz
Kai Groth, Berliner Stadtreinigungsbetriebe
Alexander Neubauer, Verband kommunaler Unter-
nehmen e.V. (VKU)

ISBN-Nr. 978-3-87750-931-9

© VKU Verlag GmbH, September 2021



LÖSUNGEN FÜR IHREN ERFOLG

Als Berater des Mittelstands stellt Ihnen RSM interdisziplinär denkende und qualifizierte Experten zur Seite.

Ob Wirtschaftsprüfung, Steuerberatung oder Transaktionsberatung: Wir verstehen die besonderen Herausforderungen.

Mit Kompetenz, Erfahrung und persönlichem Engagement begleiten wir Ihr Unternehmen und finden passgenaue Lösungen auf dem Weg zu Ihrem Erfolg.

RSM: Fokus auf den Mittelstand – national und international.

www.rsm.de

www.vku.de

vku-verlag.de



ISBN 978-3-87750-931-9