



Merkblatt

Einsätze an Kraftfahrzeugen mit alternativen Antriebsarten und -kraftstoffen

MB 05-01
Mai 2012

Haftungsausschluß: Dieses Dokument wurde sorgfältigst von den Experten der vfdb erarbeitet und vom Präsidium der vfdb verabschiedet. Der Verwender muß die Anwendbarkeit auf seinen Fall und die Aktualität der ihm vorliegenden Fassung in eigener Verantwortung prüfen. Eine Haftung der vfdb und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Vertragsbedingungen: Die vfdb verweist auf die Notwendigkeit, bei Vertragsabschlüssen unter Bezug auf vfdb- Dokumente die konkreten Leistungen gesondert zu vereinbaren. Die vfdb übernimmt keinerlei Regreßansprüche, insbesondere auch nicht aus unklarer Vertragsgestaltung.

Ziel dieses Merkblattes:

Neben den konventionellen Antriebsarten und -kraftstoffen für Pkw, Lkw und Busse, nämlich Benzin bei Ottomotoren und Dieselkraftstoff für Dieselmotoren werden in steigender Anzahl Kraftfahrzeuge (Kfz) mit alternativen Antriebsarten und -kraftstoffen auf öffentlichen Straßen bewegt. Dabei unterscheiden sich die Fahrzeugarten und deren Energie- und Antriebskonzepte abhängig vom Hersteller und dem jeweiligen Modell stark. Entgegen den Forderungen der Feuerwehr, wurde bisher eine einheitliche Kennzeichnung derartiger Fahrzeuge zur eindeutigen Identifikation und Abgrenzung von konventionell angetriebenen Fahrzeugen in Europa nicht umgesetzt. Eine gesetzliche Verpflichtung hierzu besteht nicht. Gerade deshalb ist für die Einsatzkräfte der Feuerwehr eine umfassende Erkundung des Kfz bei einem Brand- oder Unfallereignis unerlässlich, um Hinweise auf die Antriebsart und daraus resultierende Gefahren und Einsatzmaßnahmen zu erhalten.

Dieses Merkblatt gibt den Einsatzkräften der Feuerwehr wichtige Hinweise zur Erkennung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben, davon ausgehende spezifische Gefahren und darauf ausgerichtete einsatztaktische Hinweise an die Hand.

Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (TWB)
der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
Postfach 1231, 48338 Altenberge

Inhalt

1	Präambel.....	3
2	Allgemeines.....	3
3	Taktische Grundsätze bei der Brandbekämpfung.....	4
4	Tabellarische Übersicht der Antriebsstoffe.....	5
5	Antriebe mit alternativen Flüssigkraftstoffen.....	6
6	Antriebe mit Gasen.....	6
6.1	Flüssiggasantrieb.....	6
6.1.1	Technische Besonderheiten.....	7
6.1.2	Besondere Gefahren.....	7
6.1.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	8
6.1.3.1	Leckage.....	8
6.1.3.2	Brand.....	8
6.2	Erdgasantrieb.....	8
6.2.1	Technische Besonderheiten.....	8
6.2.2	Besondere Gefahren.....	10
6.2.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	10
6.2.3.1	Leckage.....	10
6.2.3.2	Brand.....	10
6.3	Wasserstoffantrieb.....	11
6.3.1	Technische Besonderheiten.....	11
6.3.2	Besondere Gefahren.....	12
6.3.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	12
6.3.3.1	Leckage.....	12
6.3.3.2	Brand.....	13
7	Hybridantrieb.....	13
7.1	Technische Besonderheiten.....	13
7.2	Besondere Gefahren.....	13
7.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	14
7.3.1	Leckage (speziell Beschädigung der Hochspannungsbatterie).....	14
7.3.2	Brand.....	14
8	Elektrischer Antrieb.....	14
8.1	Technische Besonderheiten.....	14
8.2	Besondere Gefahren.....	15
8.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	15
8.3.1	Leckage (speziell Beschädigung der Hochspannungsbatterie).....	15
8.3.2	Brand.....	16
9	Brennstoffzellenantrieb.....	16
9.1	Technische Besonderheiten.....	16
9.2	Besondere Gefahren.....	17
9.3	Besondere Einsatzmaßnahmen.....	17
9.3.1	Leckage.....	17
9.3.2	Brand.....	18
10	Quellen.....	19

1 Präambel

Kraftfahrzeuge stellen durch ihren hohen Anteil an brennbaren Stoffen ein erhöhtes Risiko dar. Das Risiko steigt mit der Inbetriebnahme. Werden in den Kraftfahrzeugen Güter transportiert, können zusätzliche Gefahren davon ausgehen.

Die Hersteller von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben gewährleisten ein hohes Maß an Sicherheit. Die bei den alternativen Antrieben mitgeführten Mengen an gefährlichen Stoffen stellen in den überwiegenden Fällen für die Einsatzkräfte der Feuerwehr keine signifikante Erhöhung der Gefahr dar. Ein Schadenereignis bleibt mit den vorhandenen Einsatzmitteln der Feuerwehr beherrschbar. Die persönliche Schutzausrüstung trägt wesentlich zur Eigensicherung bei und ist gegebenenfalls durch Augenschutz oder Atemschutz zu ergänzen. Daneben gilt der Grundsatz: Abstand schafft Sicherheit.

Dieses Merkblatt soll dazu dienen, zusätzliche Gefahren durch die alternativen Antriebe zu erkennen und angemessen darauf zu reagieren.

2 Allgemeines

Die Mehrheit der zurzeit im Straßenverkehr anzutreffenden Fahrzeuge verfügt über einen konventionellen Antrieb mittels Verbrennungsmotor und Flüssigkraftstoffen. Aus ihrem Betrieb resultierende Gefahren und das daraus folgende allgemeine einsatztaktische Vorgehen werden als bekannt vorausgesetzt. Die folgenden Darstellungen beschränken sich daher auf Besonderheiten der alternativen Antriebe.

Unter dem Begriff „Alternative Antriebe“ werden in diesem Merkblatt alle Antriebskonzepte von Kfz, die sich hinsichtlich der eingesetzten Energieart und der konstruktiven Antriebslösung von den am Markt etablierten Verbrennungsmotoren unterscheiden. Dieses Merkblatt behandelt dabei die folgenden alternativen Antriebskonzepte:

- Alternative Flüssigkraftstoffe
- Flüssiggas
- Erdgas
- Wasserstoff
- Hybrid
- Elektrisch
- Brennstoffzelle

Als „Konventionelle Antriebe“ werden die etablierten Verbrennungsmotoren auf Basis von Vergaserkraftstoff in Verbindung mit Ottomotoren und Dieselkraftstoff in Verbindung mit Dieselmotoren bezeichnet.

Besonders für die technische Hilfeleistung sind oft hersteller- und modellspezifische Kenntnisse erforderlich. Diese sind den spezifischen Rettungsleitfäden jedes einzelnen Fahrzeugmodells zu entnehmen. Sie können über die Internetseiten bei den Fahrzeugherstellern abgerufen werden. Vereinzelt werden Rettungskarten bereits im Fahrzeug mitgeführt.

3 Taktische Grundsätze bei der Brandbekämpfung

Bei der Fahrzeugaufstellung ist vorzugsweise eine erhöhte Position auf der dem Wind zugewandten Seite zu wählen.

Erkundungsmaßnahmen sind nach allgemeinen taktischen Grundsätzen durchzuführen und unabhängig von der Antriebsart des Fahrzeugs. Spezielles Augenmerk ist dabei aber auf Anzeichen für alternative Antriebe (Tankdeckel, Beschriftung, etc.) zu legen.

Einsatzkräfte tragen grundsätzlich die vollständige persönliche Schutzausrüstung. Zur Brandbekämpfung eingesetzte Einsatzkräfte tragen umluftunabhängigen Atemschutz.

Bei der initialen Brandbekämpfung ist ein Abstand von mind. 5 m zum Fahrzeug einzuhalten. Bei der Auswahl der zur Brandbekämpfung eingesetzten Armaturen ist zu beachten, dass diese eine Löschmittelabgabe von mindestens 200 l/min erlauben, um eine ausreichende Kühlleistung zu erreichen und den Abstand des Trupps bei der Brandbekämpfung bei Bedarf sofort erhöhen zu können.

Bei der Brandbekämpfung ist folgende Reihenfolge einzuhalten:

- zunächst ist eine Unterfeuerung des Fahrzeugs und Bodenfeuer um das Fahrzeug herum zu bekämpfen,
- anschließend erfolgt der Löschangriff auf den Fahrzeuginnenraum.

Aufgrund der üblicherweise im Fahrzeugbau verwendeten Materialien ist dem Löschwasser möglichst ein Schaummittelzusatz zuzugeben.

Ergeben sich während der Brandbekämpfung gefahrenenerhöhende Zustände, ist der Abstand zu vergrößern und ggf. Deckung aufzusuchen.

Bei allen Antrieben mit brennbaren Gasen sind Flammen aus Sicherheitseinrichtungen möglichst nicht zu löschen.

4 Tabellarische Übersicht der Antriebsstoffe¹

Medium	Energieträger	Speicherung	Motorart
Flüssigkraftstoffe	Vergaserkraftstoff	flüssig	Verbrennungsmotor
	Dieselmkraftstoff	flüssig	Verbrennungsmotor
	Alkohole (Methanol, Ethanol)	flüssig	Verbrennungsmotor
	Mischungen (Kohlenwasserstoffe und Alkohole, z.B. E10)	flüssig	Verbrennungsmotor
Gase	Flüssiggas (Synonyme: Autogas; Propan; Butan; LPG (Liquefied Petroleum Gas); GPL (Gaz Petroleum Liquide))	flüssig	Verbrennungsmotor
	Erdgas (Synonyme: „ CNG “ – „Methan“ – „CH ₄ “ - „BiFuel“ - „ LNG “ = Liquefied Natural Gas – „ NGT “ = Natural Gas Technology)	gasförmig, (flüssig)	Verbrennungsmotor
	Wasserstoff - H ₂ ; LH ₂ = Liquid Hydrogen - CGH ₂ = Compressed-Gas = Druckwasserstoff - „F-Cell“ - „Necar“ - „Hydrogen“	gasförmig, flüssig, fest als Hybrid gespeichert	Verbrennungsmotor
Hybrid	Kombination aus Flüssigkraftstoff und Akkumulator	flüssig, gasförmig und Hochspannungsbatterien	Verbrennungs- und Elektroantrieb
Elektrisch	Akkumulator, Solarzellen	Hochspannungsbatterien	Elektroantrieb
Brennstoffzellen	Wasserstoff, Erdgas	gasförmig, flüssig, fest als Hybrid gespeichert	Elektroantrieb

5 Antriebe mit alternativen Flüssigkraftstoffen

Bauausführung und Antriebstechnik werden durch die Nutzung von Ethanolkraftstoffen nicht in einem für die Feuerwehr bedeutsamen Maße verändert. Zum jetzigen Zeitpunkt kann daher davon ausgegangen werden, dass sich durch die Nutzung von Ethanolkraftstoffen im bestimmungsgemäßen Betrieb keine grundsätzlich risikoe erhöhenden Faktoren gegenüber Kraftfahrzeugen mit herkömmlichen Kraftstoffen ergeben. Aus dem Betrieb von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren resultierende Gefahren und das daraus folgende allgemeine einsatztaktische Vorgehen werden als bekannt vorausgesetzt.

6 Antriebe mit Gasen

6.1 Flüssiggasantrieb

In Europa werden mehrere Millionen Kraftfahrzeuge mit Flüssiggasantrieb, vornehmlich in Italien, den Niederlanden, Frankreich und Polen, eingesetzt. Als Flüssiggas wird unter einem Druck von 8bar verflüssigtes Propan oder Propan-Butan-Gemisch eingesetzt. Das Gas wird in speziellen Tankbehältern gespeichert. Antriebsaggregate der Fahrzeuge sind modifizierte Otto-Motoren, die wahlweise mit Flüssiggas oder Benzin angetrieben werden können (bivalent).

Äußeres Erkennungsmerkmal beim Pkw ist im Regelfall ein zusätzlicher Füllanschluss im Bereich des Fahrzeughecks. Die Flüssiggas-Tankbehälter sind üblicherweise im Kofferraum, z.B. in der Reserveradmulde eines Fahrzeuges, eingebaut. Sie haben üblicherweise ein Volumen zwischen 35 und 84 l.

Bei Zylindertanks, die bei Vans oder Pickups eingesetzt werden, können die verbauten Tankvolumina bis zu 200 l erreichen.

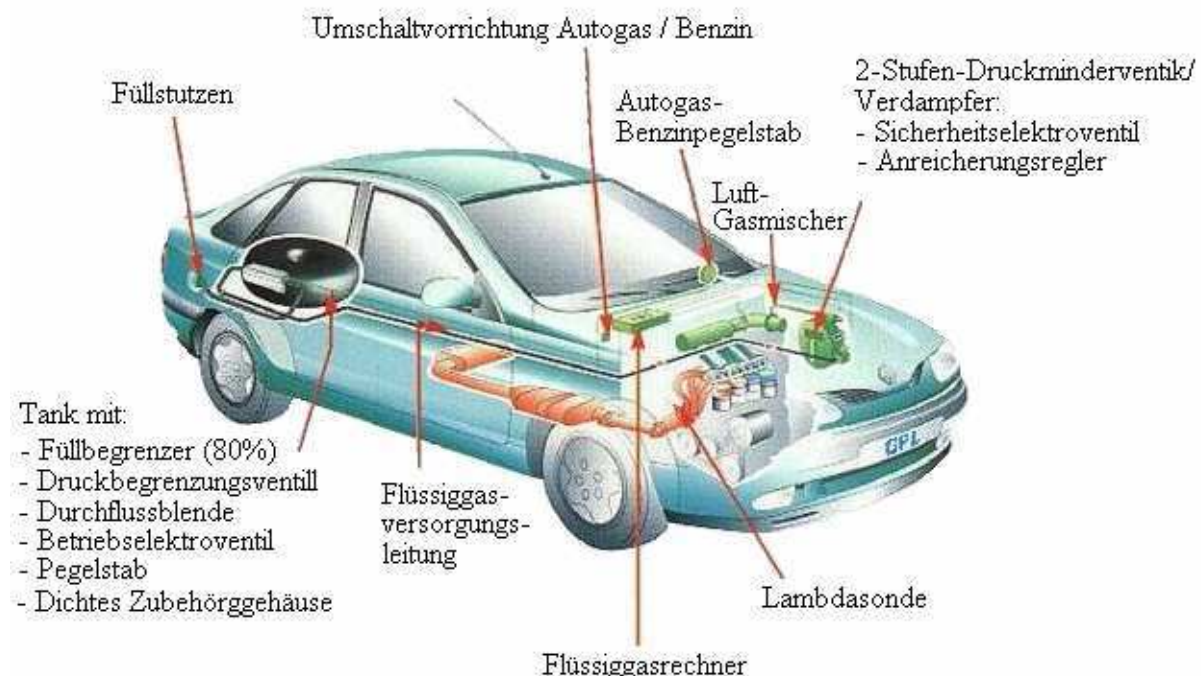


Abb. 1: Systemaufbau Fahrzeug mit Flüssiggasantrieb GPL (Gaz Petroleum Liquide)²

6.1.1 Technische Besonderheiten

Im oberen Bereich des Tankbehälters (i.d.R. aus Stahl, Lagerdruck ca. 8 bar) sind üblicherweise folgende Armaturen unter einer gasdichten Schutzabdeckung eingebaut:

- Füllventil mit Doppelrückschlagventil.
- Entnahmeventil, elektromagnetisch betätigt (kann zusätzlich auch manuell zu betätigen sein).
- Automatischer Füllstop, der bei einem Füllstand von 80 % des Tankvolumens die Befüllung beendet.
- Füllstandanzeiger mit einer Anzeige des Behälterinhaltes.
- Sicherheitsventil mit einem Ansprechdruck von ca. 30 bar

Die genannten Armaturen können zusammen in einer sogenannten Kombinationsarmatur, welche die Funktionen vereint, zusammengefasst sein.

Im Falle eines Unfalles wird bei einem Motorstillstand oder ausgeschalteter Zündung das elektromagnetische Entnahmeventil am Behälter automatisch geschlossen, wodurch über die Gasleitung kein Flüssiggas entweichen kann. Tritt dennoch Gas aus, kann sich im Fahrzeug, z.B. im Kofferraum, oder in der Umgebung des Fahrzeuges, ein zündfähiges Gas-Luft-Gemisch bilden. Ausgetretenes Flüssiggas kann durch den spezifischen Geruch wahrgenommen werden. Weitere Möglichkeiten zur Abklärung der Fahrzeugsituation sind die Befragung der Unfallbeteiligten, die Einsicht in die Fahrzeugpapiere und eine umfassende Erkundung des Fahrzeugs. Ein möglicher Gasaustritt kann mit geeigneten Gasmessgeräten der Feuerwehr festgestellt werden.

Verglichen mit ortfesten Flüssiggasbehältern, sind Kfz Behälter mit doppelter Sicherheit ausgelegt und die zugelassenen Füllmengen wesentlich geringer.

Bei einer unzulässigen Erwärmung des Behälters, wie sie beispielsweise bei Fahrzeugbränden auftreten kann, steigt der Druck im Behälter zunächst durch die Erwärmung an. Bei Erreichen des Ansprechdruckes des Sicherheitsventils öffnet dieses schlagartig, wobei das austretende Gas gezündet wird und in einer Stichflamme abbrennt. Unter Umständen fällt durch die schlagartige Expansion des Flüssiggases und der damit verbundenen Abkühlung des Behälters der Behälterinnendruck unter den Ansprechdruck des Sicherheitsventils, wodurch das Sicherheitsventil wieder schließt. Das Sicherheitsventil öffnet sich erneut, wenn durch die Erwärmung der Behälterdruck wieder auf den Ansprechdruck des Sicherheitsventils angestiegen ist. Dadurch wird ein Bersten des Tankes im Brandfall verhindert.

6.1.2 Besondere Gefahren

- Flüssiggas ist leichtentzündlich. Entzündung durch Wärme, Funkenflug, Flugfeuer, Flammen oder heiße Oberflächen möglich.
- Flüssiggas ist schwerer als Luft. Daher sammelt es sich in Senken, tiefer gelegenen Räumen und Vertiefungen wie Schächten oder Kanalöffnungen.
- Bereits kleinste Mengen flüssig ausströmenden Gases genügen, um große Mengen zündfähiges Gas-Luft-Gemisch zu bekommen. Daher ist besonders auf Austritt flüssigen Gases zu achten!
(Faustregel: 1 kg Flüssiggas entspricht 2 Litern Flüssigphase; 2 Liter Flüssigphase entsprechen 500 Litern Gasphase; 500 Liter Gasphase ergeben bis zu 30.000 Liter zündfähiges Gas-Luft-Gemisch).
- Rückzündungsgefahr durch am Boden kriechende schwere Gase.
- Explosionsgefahr, besonders in Gebäuden oder der Kanalisation.
- Berührung mit Flüssiggas führt zu erheblichen Erfrierungen.
- Schwindel- und Erstickungssymptome möglich.

6.1.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

- Gefahrenbereich im Umkreis von mindestens 50 Metern absperren, räumen und Zutritt untersagen.
- Evtl. Gasausbreitung feststellen (Geruch, Messungen).

6.1.3.1 Leckage

- Motor abstellen, Zündung ausschalten, die Absperreinrichtung(en) der Tanks schließen (wenn gefahrlos möglich).
- Zündquellen vermeiden / beseitigen – kein Öffnen der Fahrzeurtüren (Ex-Gefahr durch Innenlicht), besser: Seitenscheiben einschlagen! Rauchen, offenes Licht untersagen.
- Freigewordenes Produkt nicht berühren.
- Brandschutz sicherstellen.
- Es dürfen nur ex-geschützte Geräte im primären Gefahrenbereich eingesetzt werden; diese nach Möglichkeit außerhalb schalten.
- Berücksichtigen, ob Kanaleinläufe oder andere Vertiefungen vorhanden sind und Abfließen des Gases vermeiden.
- Gasansammlungen in Hohlräumen (Innenraum, Motorraum, Kofferraum, Radkästen) beachten.
- Für Querlüftung sorgen (Gas „verblasen“).
- Befindet sich das Fahrzeug mit Leckage in einem Gebäude (Garage), ist zu prüfen, ob es aus dem Gebäude ins Freie geschoben werden kann.

6.1.3.2 Brand

- Keine zusätzlichen Maßnahmen über die unter 3 genannten Grundsätze hinaus.

Da der überwiegende Teil der Erdgasfahrzeuge bivalent ist und Benzin mit sich führt, sind die Sicherheitsanforderungen für Benzinfahrzeuge mit zu beachten!

Bei intensiver Beflammung des Gastanks kann ein Zerknall des Druckbehälters trotz Sicherheitseinrichtungen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

6.2 Erdgasantrieb

6.2.1 Technische Besonderheiten

Erdgas wird in Fahrzeugen mit einem Druck von 200 bar (15°C) in Hochdruckflaschen aus Stahl oder Verbundwerkstoffen (Composite) gasförmig gespeichert (Compressed Natural Gas). Erkennbar sind Erdgasfahrzeuge u.a. an ihrer charakteristischen Befülleinrichtung hinter dem Tankdeckel oder im Motorraum (bei Nachrüstungen). Neben reinen Erdgasfahrzeugen (monovalent) werden mehrheitlich Fahrzeuge betrieben, die neben den Erdgastanks auch einen Benzin- oder Dieseltank besitzen (bivalent).

Für den Brandfall sind die Erdgasbehälter mit folgenden Sicherheitseinrichtungen ausgestattet:

- manuelle Absperrvorrichtung mit integrierter Schmelzsicherung
- Berstscheibe
- Durchflussbegrenzer

Diese Sicherheitseinrichtungen sprechen bei einer Temperatur von 140°C an.

Typische Tankvolumen nach Fahrzeugtypen:

- Pkw ca. 32 m³ Gas, ergibt ca. □640 m³ zündfähiges Gas-Luft-Gemisch
- Lkw ca. 185 m³ Gas, ergibt ca. □3700 m³ zündfähiges Gas-Luft-Gemisch
- Busse ca. 240 m³ Gas, ergibt ca. □4800 m³ zündfähiges Gas-Luft-Gemisch.

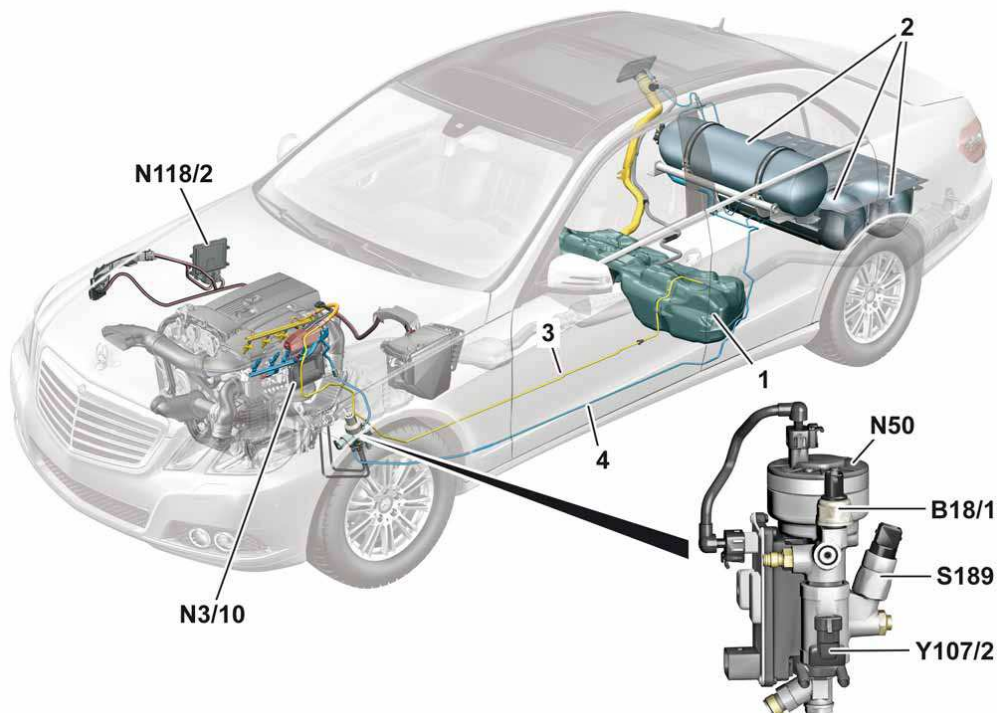


Abb. 2: Beispiel für einen PKW mit bivalentem Motorenantrieb³

Mercedes E-Klasse Limousine (Typ 212) E 200 NGT

1 Kraftstofftank Benzin

3 Kraftstoffleitung Benzin

B18/1 Hochdrucksensor Gas

N50 Elektronischer Druckregler CNG

S189 Druckschalter

2 Gasbehälter

4 Kraftstoffleitung Erdgas

N3/10 Steuergerät ME

N118/2 Steuergerät CNG

Y107/2 Sicherheitsabsperrentil Gas

6.2.2 Besondere Gefahren

Erdgas wirkt schwach betäubend und kann durch Verdrängung von Sauerstoff erstickend wirken. Es ist farblos, ungiftig, und von Natur aus geruchlos. Es wird deshalb ein Geruchsstoff beigemischt (Odorierung), der dem Erdgas einen Warngeruch verleiht. Dadurch werden schon geringste Undichtigkeiten wahrgenommen – lange bevor die untere Explosionsgrenze erreicht wird.

- Gefahrenbereich im Umkreis von mindestens 50 Metern absperren, räumen und Zutritt untersagen.
- Evtl. Gasausbreitung feststellen (Geruch, Messungen).

6.2.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

6.2.3.1 Leckage⁴

- Motor abstellen, Zündung ausschalten, die Absperreinrichtung(en) der Tanks schließen (wenn gefahrlos möglich).
- Zündquellen vermeiden / beseitigen – kein Öffnen der Fahrzeurtüren (Ex-Gefahr durch Innenlicht), besser: Seitenscheiben einschlagen! Rauchen, offenes Licht untersagen.
- Freigewordenes Produkt nicht berühren.
- Brandschutz sicherstellen.
- Es dürfen nur ex-geschützte Geräte im primären Gefahrenbereich eingesetzt werden; diese nach Möglichkeit außerhalb schalten.
- Berücksichtigen, ob Kanaleinläufe oder andere Vertiefungen vorhanden sind und Abfließen des Gases vermeiden.
- Gasansammlungen in Hohlräumen (Innenraum, Motorraum, Kofferraum, Radkästen) beachten.
- Für Querlüftung sorgen (Gas „verblasen“).
- Befindet sich das Fahrzeug mit Leckage in einem Gebäude (Garage), ist zu prüfen, ob es aus dem Gebäude ins Freie geschoben werden kann.

6.2.3.2 Brand

- Keine zusätzlichen Maßnahmen über die unter 3 genannten Grundsätze hinaus.

Da der überwiegende Teil der Erdgasfahrzeuge bivalent ist und Benzin mit sich führt, sind die Sicherheitsanforderungen für Benzinfahrzeuge mit zu beachten!

Bei intensiver Beflammung des Gastanks kann ein Zerknall des Druckbehälters trotz Sicherheitseinrichtungen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

6.3 Wasserstoffantrieb

6.3.1 Technische Besonderheiten

Die im Wasserstofftank gespeicherte Energie kann auf zwei Arten für den Fahrzeugantrieb genutzt werden. Entweder direkt als Kraftstoff eines Verbrennungsmotors oder in einer Brennstoffzelle (vgl. 9) zur Stromgewinnung für einen Elektroantriebsmotor.

Eine spezielle Kennzeichnung ist möglich, oftmals befinden sich aber ausschließlich firmenspezifische Hinweise wie z.B. Clean Energy am Fahrzeug.

Der Wasserstoff kann in verschiedenen Speichertechnologien im Fahrzeug gespeichert sein:

- Hochdruck-Compositebehälter mit einem Druck bis zu 700 bar (üblich bei Nutzfahrzeugen und Bussen, dort meist bis 350 bar).
- Metallhydridspeicher unter Druck, ca. 150 bar, als „Metallschwamm“ in einem Druckbehälter.
- Flüssigwasserstoffbehälter, bei rund minus 253°C und 5 bar tiefkalt flüssig gelagert.
- „Nanotubes“, Kapillaren/Wabenstruktur aus Glas- oder Kohlenstofffasern.



Abb. 3: Hochdruck-Compositebehälter⁵



Abb. 4: Flüssigwasserstofftank (Liquid Hydrogen Tank, LH₂)⁶

Als Sicherheitseinrichtungen werden bei Hochdruck-Compositebehältern Schmelzsicherungen verwendet, die bei zu hoher Umgebungstemperatur oder direkter Beflammung zu einem vollständigen Abströmen des gesamten Behälterinhalts führen.

Flüssigwasserstoffbehälter verfügen über Überdruckventile (üblicher Ansprechdruck ca. 5 bar), die den Behälterdruck durch Abströmen bedarfsweise senken.

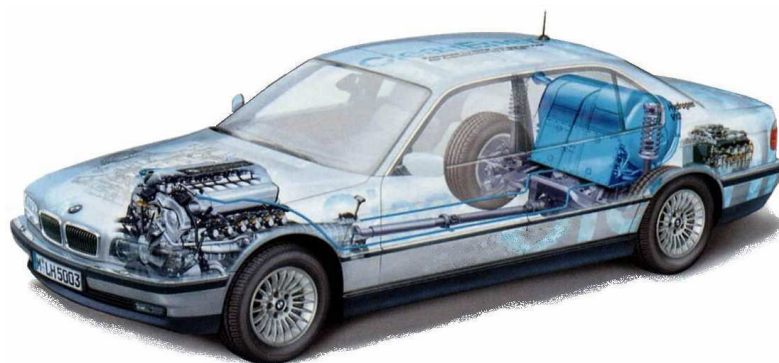


Abb. 5: Systemaufbau eines Pkw mit Wasserstofftank⁷

6.3.2 Besondere Gefahren

Wasserstoff ist ein sehr leichtes, brennbares, farb- und geruchloses Gas. Es ist ungiftig oder nicht gesundheitsschädlich, es verflüchtigt sich aufgrund seiner geringen Dichte und des hohen Diffusionskoeffizienten sehr schnell. Bei unkontrolliertem Gasaustritt besteht bei Berührung der gasführenden Anlagenteile die Gefahr einer Erfrierung.

Die Mindestzündenergie ist mit 0,02 mJ sehr niedrig, bereits durch elektrostatische Ladung kann eine Zündung erfolgen. Unter Druck ausströmender Wasserstoff kann sich selbst entzünden. Wasserstoff brennt mit fast farbloser Flamme, diese ist bei Tageslicht kaum sichtbar und oft nur durch die Wärmestrahlung „wahrnehmbar“.

Eine massive Beschädigung bestimmter Fahrzeugkomponenten bei gleichzeitigem Ausfall des zentralen Absperrventils könnte dazu führen, dass Wasserstoff in einzelne Fahrzeugbereiche (Kofferraum, Fahrzeuginnenraum, Radkästen, Motorraum etc.) eindringt und eine explosionsfähige Atmosphäre erzeugt. Es besteht Explosionsgefahr.

- Von außen wahrnehmbare Knattergeräusche sind ein Anzeichen für das Ansprechen der Sicherheitsventile, wodurch Wasserstoff über das Dachventil austritt.
- Da die C-Säulen Wasserstoffleitungen zum Dachventil enthalten, sind diese nur im äußersten Notfalle zu durchtrennen.

6.3.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

6.3.3.1 Leckage

- Motor abstellen, Zündung ausschalten, die Absperreinrichtung(en) der Tanks schließen (wenn gefahrlos möglich).
- Zündquellen vermeiden / beseitigen – kein Öffnen der Fahrzeugtüren (Ex-Gefahr durch Innenlicht), besser: Seitenscheiben einschlagen! Rauchen, offenes Licht untersagen.
- Freigewordenes Produkt nicht berühren.
- Brandschutz sicherstellen.
- Es dürfen nur ex-geschützte Geräte im primären Gefahrenbereich eingesetzt werden; diese nach Möglichkeit außerhalb schalten.
- Berücksichtigen, ob Kanaleinläufe oder andere Vertiefungen vorhanden sind und Abfließen des Gases vermeiden.
- Gasansammlungen in Hohlräumen (Innenraum, Motorraum, Kofferraum, Radkästen) beachten.
- Für Querlüftung sorgen (Gas „verblasen“).
- Befindet sich das Fahrzeug mit Leckage in einem Gebäude (Garage), ist zu prüfen, ob es aus dem Gebäude ins Freie geschoben werden kann.
- Nicht isolierte Bauteile einer Wasserstoff-Gasanlage keinesfalls mit ungeschützter Haut berühren, da Erfrierungsgefahr besteht. Diese ist auch bei tiefkalt austretenden Dämpfen, die an einer Nebelbildung zu erkennen sind, zu beachten.
- Wegen der schweren Erkennbarkeit einer Wasserstoffflamme ist es wichtig, die Wasserstoff-Austrittsstelle zu lokalisieren und auf Brand zu prüfen (Wärmebildkamera, Besentest).

Besentest:

Die Borstenseite eines Besens wird vor die vermutete Wasserstoff-Austrittsstelle gehalten. Durch das Entflammen der Besenborsten bei Brand wird eine unsichtbare Wasserstoffverbrennung erkennbar.

6.3.3.2 Brand

- Brandbekämpfung nach den unter 3 beschriebenen Grundsätzen durchführen.
- Bei fortgeschrittener Brandeinwirkung aus Deckung Behälter und Umgebung kühlen.

7 Hybridantrieb

7.1 Technische Besonderheiten

Unter einem Hybridantrieb versteht man den Antrieb aus zwei miteinander verbundenen Antriebstechnologien: einem Elektroantrieb und einem Verbrennungsantrieb. Für beide Antriebsarten sind Energiespeicher (Batterie, Kraftstofftank) notwendig. Daher sind die Besonderheiten und Gefahren beider Antriebssysteme zu beachten!

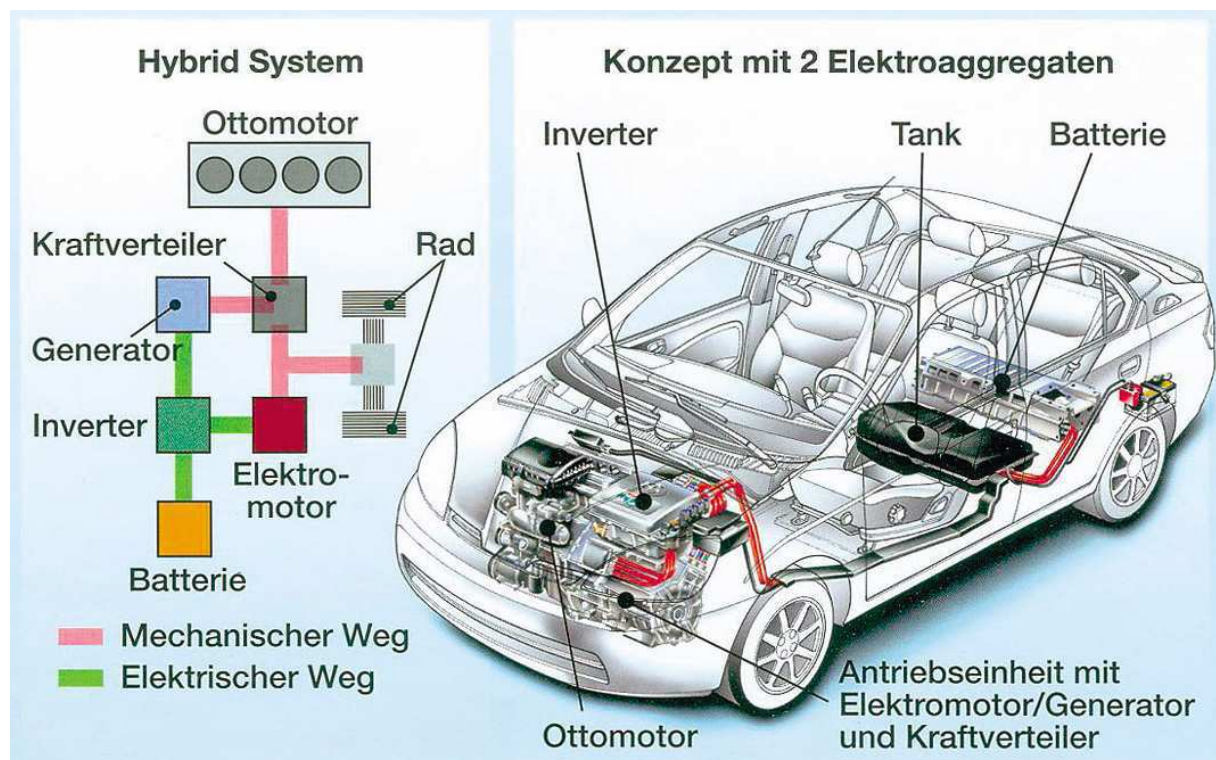


Abb. 6: Schematischer Aufbau eines Pkw mit Hybridantrieb⁸

7.2 Besondere Gefahren

Elektro-Hybridfahrzeuge besitzen neben der üblichen 12-V-Fahrzeugsbatterie eine Hochspannungsbatterie (Nickel-Metallhydrid (NiMH)), bei der, abhängig vom Fahrzeugmodell, eine elektrische Spannung von bis zu 400 V (bei Bussen bis zu 680 V) anliegt.

Nach Ausschalten des Fahrzeugs ist der elektrische Teil des Hybrid-Systems noch **90 Sekunden** aktiv. Die Spannung in den Kabeln für den elektrischen Betriebsstrom baut sich innerhalb von 5 Minuten ab.

Das Elektrolyt der Hochspannungsbatterie bei einer NiMH-Batterie größtenteils aus Kaliumhydroxid (UN-Nr. 1814) und Natriumhydroxid (UN-Nr. 1824). Der pH-Wert der stark alkalischen Lauge beträgt 13,5 und ist somit schädigend für das menschliche Gewebe. Das

Batteriegehäuse darf deshalb auch im Brandfall unter keinen Umständen aufgebrochen oder entfernt werden.

Da insbesondere der Elektroantrieb nahezu lautlos arbeitet, muss umgehend der Antriebsstatus festgestellt das und Hochspannungssystem deaktiviert werden.

- Fahrzeug ausschalten (POWER-Schalter oder Not-Aus-Taster drücken).
- Fahrzeug gegen Wegrollen sichern.
- Hochvolt-Kabel bzw. –Komponenten nicht berühren, öffnen oder durchtrennen.
- Die 12 V- oder 24 V-Fahrzeugsbatterie abklemmen.

Die Hochvoltleitungen für den Fahrantrieb sind meist an der orangen bzw. roten Farbgebung zu erkennen und verlaufen oft im Unterboden des Fahrzeugs.

7.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

7.3.1 Leckage (speziell Beschädigung der Hochspannungsbatterie)

- Austritte von Flüssigkraftstoffen wie bei herkömmlichen Kraftfahrzeugen bekämpfen.
- Bei Umgang mit ausgelaufenem Elektrolyt komplette Feuerwehrsutzhleidung und ggf. leichten Chemiekalienschutzanzug sowie umluftunabhängigen Atemschutz tragen
- Ausgelaufenes Elektrolyt einer NiMH-Batterie mit Chemikalienbindemittel abstreuen.
Alternative: Neutralisation mit verdünnter Borsäurelösung (800 g Borsäure auf 20 l Wasser)

7.3.2 Brand

- Brandbekämpfung nach den unter 3 beschriebenen Grundsätzen durchführen.
- Konnte das Hybridsystem nicht mit Sicherheit deaktiviert werden, ist bei der Brandbekämpfung Sicherheitsabstand vergrößern.
- Da es sich bei der Hochleistungsbatterie um eine versiegelte Gel-Batterie handelt, besteht bei Erhitzung über 100°C die Gefahr, des Aufplatzens der Batteriemodule und daraus resultierender Entstehung eines zündfähigen Wasserstoff-Luft-Gemisches („Knallgas“), durch ausgetretenes und mit Leichtmetallen reagierendes Kaliumhydroxid.
- Dabei ist ein massiver Löschangriff aus sicherer Deckung vorzutragen und die Behälter und deren Umgebung sind zu kühlen.
- Sicherheitsabstand erhöhen!

8 Elektrischer Antrieb

8.1 Technische Besonderheiten

Meist weisen Fahrzeuge mit Elektroantrieben keine sicheren äußeren Unterscheidungsmerkmale zu Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben auf: Hinweise finden sich jedoch durch Beschriftungen und Embleme.

Da die Hochspannungsbatterien des Fahrantriebs eine Masse von über 100 kg aufweisen, werden diese aus fahrdynamischen Gründen möglichst tief eingebaut, was zu einem veränderten Schwerpunkt gegenüber konventionell angetriebenen Fahrzeugen des gleichen Typs führt. Auf eine ausreichende Stabilisierung verunfallter Fahrzeuge ist deshalb besonders bei einer Dachlage des Unfallfahrzeugs zu achten.

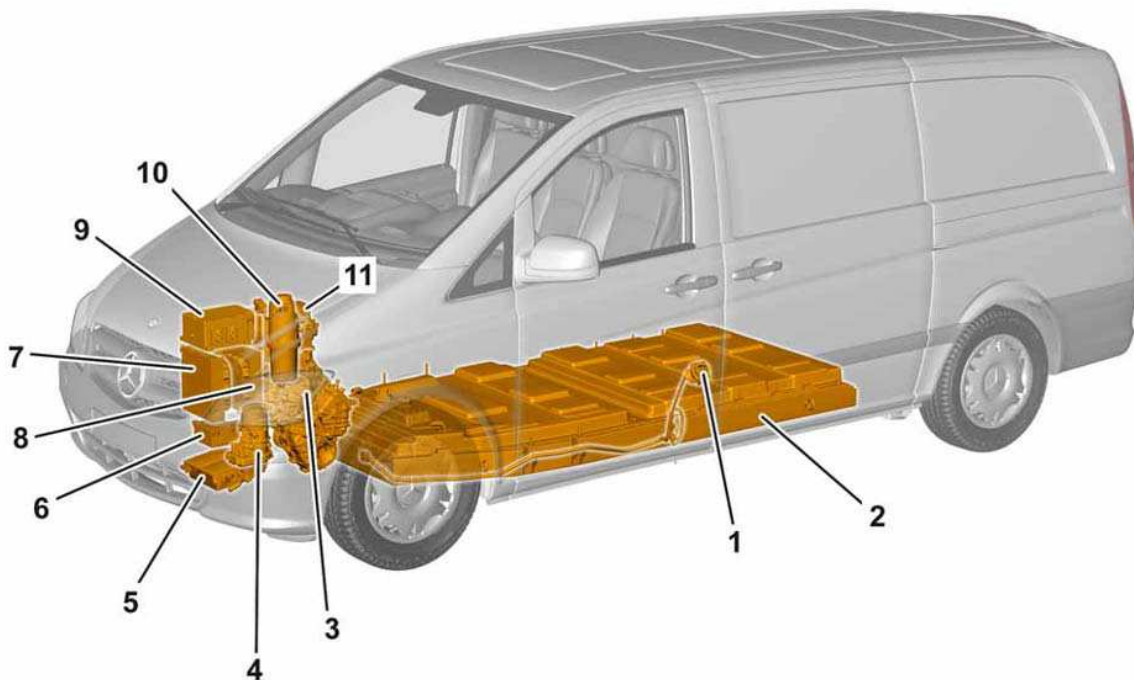


Abb. 7: Beispiel Systemaufbau Mercedes Vito E-Cel⁹

Übersicht Hochvoltkomponenten

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 Ladesteckdose | 2 Hochvoltbatterie |
| 3 Elektroantrieb | 4 Elektrohydraulische Servolenkung |
| 5 DC/DC-Wandler | 6 Smart Charge Communication Unit (SCCU) |
| 7 Hochvolt-Ladegerät 1 | 8 Hochvolt-Ladegerät 2 |
| 9 Modul Hochvolt-Verteiler | 10 Heizgerät Hochvolt |

8.2 Besondere Gefahren

Elektrische Gefahren durch hohe Spannungen bis 1000 V.

Da der Elektroantrieb nahezu lautlos arbeitet, muss umgehend der Antriebsstatus festgestellt und das Hochspannungssystem deaktiviert werden.

- Fahrzeug ausschalten (POWER-Schalter oder Not-Aus-Taster drücken).
- Fahrzeug gegen Wegrollen sichern.
- Hochvolt-Kabel bzw. -Komponenten nicht berühren, öffnen oder durchtrennen.
- Die 12 V- oder 24 V-Fahrzeugsbatterie abklemmen.

Die Hochvoltleitungen für den Fahrtrieb sind meist an der orangen bzw. roten Farbgebung zu erkennen und verlaufen oft im Unterboden des Fahrzeugs.

8.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

8.3.1 Leckage (speziell Beschädigung der Hochspannungsbatterie)

- Bei Umgang mit ausgelaufenem Elektrolyt komplette Feuerwehrschrutzkleidung und ggf. leichten Chemiekalienschutzanzug sowie umluftunabhängigen Atemschutz tragen
- Ausgelaufenes Elektrolyt mit Chemikalienbindemittel abstreuen.

8.3.2 Brand

- Brandbekämpfung nach den unter 3 beschriebenen Grundsätzen durchführen.
- Konnte das Hybridsystem nicht mit Sicherheit deaktiviert werden, ist bei der Brandbekämpfung Sicherheitsabstand vergrößern.
-

9 Brennstoffzellenantrieb

9.1 Technische Besonderheiten

Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemischer Energiewandler, der durch die Reaktion von Wasserstoff und Luftsauerstoff elektrischen Strom erzeugt. Mit diesem wird ein Elektromotor gespeist, der das Fahrzeug antreibt. Um die für den Antrieb eines Kfz benötigte Energie erzeugen zu können, werden mehrere Brennstoffzellen zu einem sog. „Brennstoffzellenstack“ zusammengefasst.

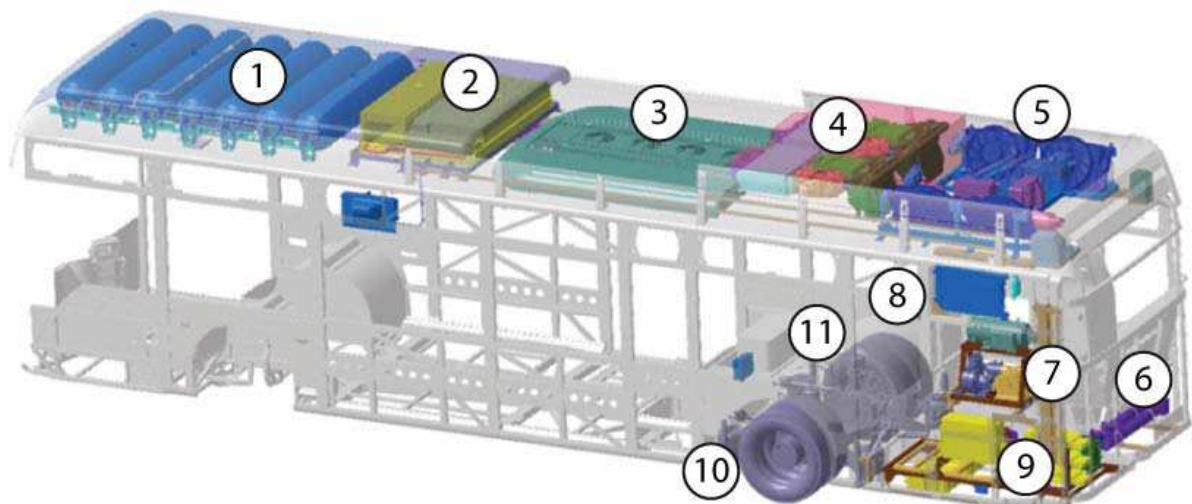


Abb. 8: Systemaufbau eines Busses mit Brennstoffzellenantrieb¹⁰

- 1 Wasserstofftanks (Tankdruck max. 350 bar)
- 2 Hochvolt-Batterie
- 3 Dachklimaanlage
- 4 Brennstoffzellensystem
- 5 Dachkühlanlage (Hochtemperatur-Kühlung)
- 6 Heizung
- 7 Nebenaggregate
- 8 Kühler (Niedertemperatur-Kühlung für Leistungselektronik)
- 9 Leistungselektronik-Träger
- 10 Radnabenmotor
- 11 Bordbatterie 24 V (vor der Antriebsache rechts)

Beding durch die technisch anspruchsvolle Speicherung von reinem Wasserstoff (vgl. 6.3.1), werden auch wasserstoffhaltige Stoffe (z.B. Erdgas, Methanol) als Energieträger genutzt. Diese müssen vor Einsatz in der Brennstoffzelle in Reformern (teilweise integriert) in ein wasserstoffhaltiges Gas zersetzt werden.

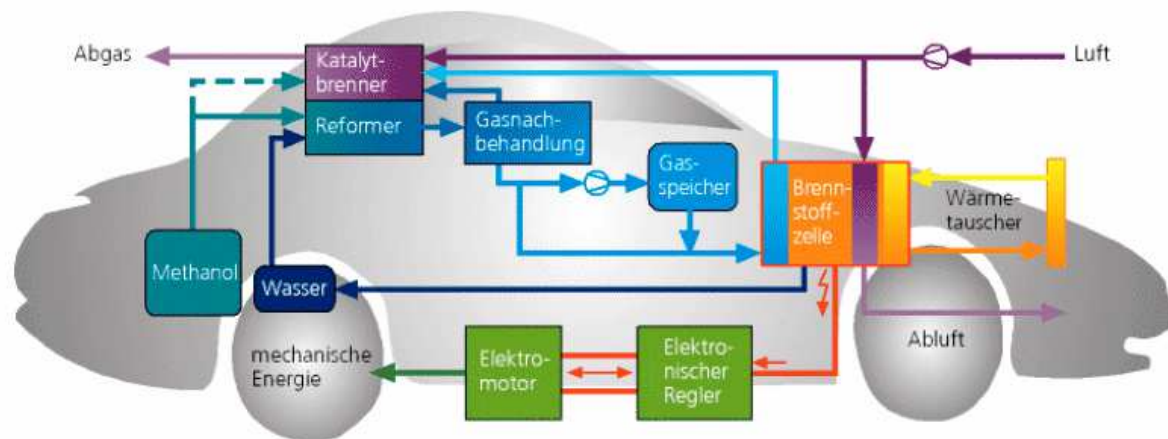


Abb. 9: Schematischer Aufbau eines Brennstoffzellen-PKW mit on-board-Erzeugung des Wasserstoffs aus Methanol mittels Dampfreformierung¹¹

- Elektrizität kann zum Antrieb des Elektromotors in einer Hochspannungs-Batterie gespeichert werden.
- Brennstoffzellen können auch zur Strom- und Wärme-gewinnung für stationäre und mobile Anwendungen eingesetzt werden.

Sofern die Brennstoffzelle einen Elektromotor zum Antrieb des Fahrzeugs versorgt, liegt eine sog. „Traktionsspannung“ von 450 V (Mercedes A-Klasse) bis ca. 700 V (Omnibus) an. Dient die Brennstoffzelle wie z.B. bei BMW Modellen der Baureihe 7 lediglich der Versorgung elektrischer Verbraucher im Fahrzeug, liegt eine elektrische Spannung von etwa 42 V an.

9.2 Besondere Gefahren

Brennstoffzellen als Fahrantriebe werden aktuell nicht in Serienfahrzeugen nicht eingesetzt. Fahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb sind zurzeit nur als vereinzelte Testfahrzeuge im Straßenverkehr zu finden.

Durch die Kombination zweier Antriebssysteme sind insbesondere die Hinweise der Kapitel 6.3 und 8 zu beachten.

- Traktionsspannungskreislauf deaktivieren.
- Traktionsspannungsleitungen (in der Regel orange) nicht durchtrennen.

9.3 Besondere Einsatzmaßnahmen

9.3.1 Leckage

- Motor abstellen, Zündung ausschalten, die Absperreinrichtung(en) der Tanks schließen (wenn gefahrlos möglich).
- Zündquellen vermeiden / beseitigen – kein Öffnen der Fahrzeurtüren (Ex-Gefahr durch Innenlicht), besser: Seitenscheiben einschlagen! Rauchen, offenes Licht untersagen.
- Freigewordenes Produkt nicht berühren.
- Brandschutz sicherstellen.
- Es dürfen nur ex-geschützte Geräte im primären Gefahrenbereich eingesetzt werden; diese nach Möglichkeit außerhalb schalten.

- Berücksichtigen, ob Kanaleinläufe oder andere Vertiefungen vorhanden sind und Abfließen des Gases vermeiden.
- Gasansammlungen in Hohlräumen (Innenraum, Motorraum, Kofferraum, Radkästen) beachten.
- Für Querlüftung sorgen (Gas „verblasen“).
- Befindet sich das Fahrzeug mit Leckage in einem Gebäude (Garage), ist zu prüfen, ob es aus dem Gebäude ins Freie geschoben werden kann.
- Nicht isolierte Bauteile einer Wasserstoff-Gasanlage keinesfalls mit ungeschützter Haut berühren, da Erfrierungsgefahr besteht. Diese ist auch bei tiefkalt austretenden Dämpfen, die an einer Nebelbildung zu erkennen sind, zu beachten.
- Wegen der schweren Erkennbarkeit einer Wasserstoffflamme ist es wichtig, die Wasserstoff-Austrittsstelle zu lokalisieren und auf Brand zu prüfen (Wärmebildkamera, Besentest).

Besentest:

Die Borstenseite eines Besens wird vor die vermutete Wasserstoff-Austrittsstelle gehalten. Durch das Entflammen der Besenborsten bei Brand wird eine unsichtbare Wasserstoffverbrennung erkennbar.

- Bei Umgang mit ausgelaufenem Elektrolyt komplette Feuerwehrsutzhleidung und ggf. leichten Chemiekalienschutzanzug sowie umluftunabhängigen Atemschutz tragen
- Ausgelaufenes Elektrolyt mit Chemikalienbindemittel abstreuen.

9.3.2 Brand

- Brandbekämpfung nach den unter 3 beschriebenen Grundsätzen durchführen.
- Bei fortgeschrittener Brandeinwirkung aus der Deckung heraus Behälter und Umgebung kühlen.
- Konnte das elektrische System nicht mit Sicherheit deaktiviert werden, ist bei der Brandbekämpfung Sicherheitsabstand vergrößern.

10 Quellen

[1] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband Sachgebiet 4.6 - Gefährliche Stoffe, ÖBFV-INFO E – 20 Alternative Antriebe Alternative Treibstoffe in Fahrzeugen und Gebäuden, Oktober 2010 Version V01.0/1010, A-1050 Wien

[2] Referat 5 – Brandschutz – des Technisch-Wissenschaftlichen Beirats der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Merkblatt Einsätze an Kraftfahrzeugen mit alternativen Antriebsarten und –Kraftstoffen, Oktober 2007, D-48338 Altenberge

[3] Daimler AG – Technische Information und Werkstatteinrichtung (GSP/OI), Leitfaden für Rettungsdienste Pkw, 2012, D-70546 Stuttgart

[4] Staatliche Feuerweherschule Würzburg, Merkblatt für die Feuerwehren Bayerns, Erdgas 7.07, 2004, 97082 Würzburg

[5] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband Sachgebiet 4.6 - Gefährliche Stoffe, ÖBFV-INFO E – 20 Alternative Antriebe Alternative Treibstoffe in Fahrzeugen und Gebäuden, Oktober 2010 Version V01.0/1010, A-1050 Wien

[6] Österreichischer Bundesfeuerwehrverband Sachgebiet 4.6 - Gefährliche Stoffe, ÖBFV-INFO E – 20 Alternative Antriebe Alternative Treibstoffe in Fahrzeugen und Gebäuden, Oktober 2010 Version V01.0/1010, A-1050 Wien

[7] Referat 5 – Brandschutz – des Technisch-Wissenschaftlichen Beirats der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Merkblatt Einsätze an Kraftfahrzeugen mit alternativen Antriebsarten und –Kraftstoffen, Oktober 2007, D-48338 Altenberge

[8] Referat 5 – Brandschutz – des Technisch-Wissenschaftlichen Beirats der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Merkblatt Einsätze an Kraftfahrzeugen mit alternativen Antriebsarten und –Kraftstoffen, Oktober 2007, D-48338 Altenberge

[9] Daimler AG, Leitfaden für Rettungsdienste Transporter, 2010, D-70546 Stuttgart

[10] EvoBus GmbH / Mercedes-Benz Omnibusse, Leitfaden für Rettungsdienste Omnibusse, 2011, D-68301 Mannheim

[11] Referat 5 – Brandschutz – des Technisch-Wissenschaftlichen Beirats der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V., Merkblatt Einsätze an Kraftfahrzeugen mit alternativen Antriebsarten und –Kraftstoffen, Oktober 2007, D-48338 Altenberge