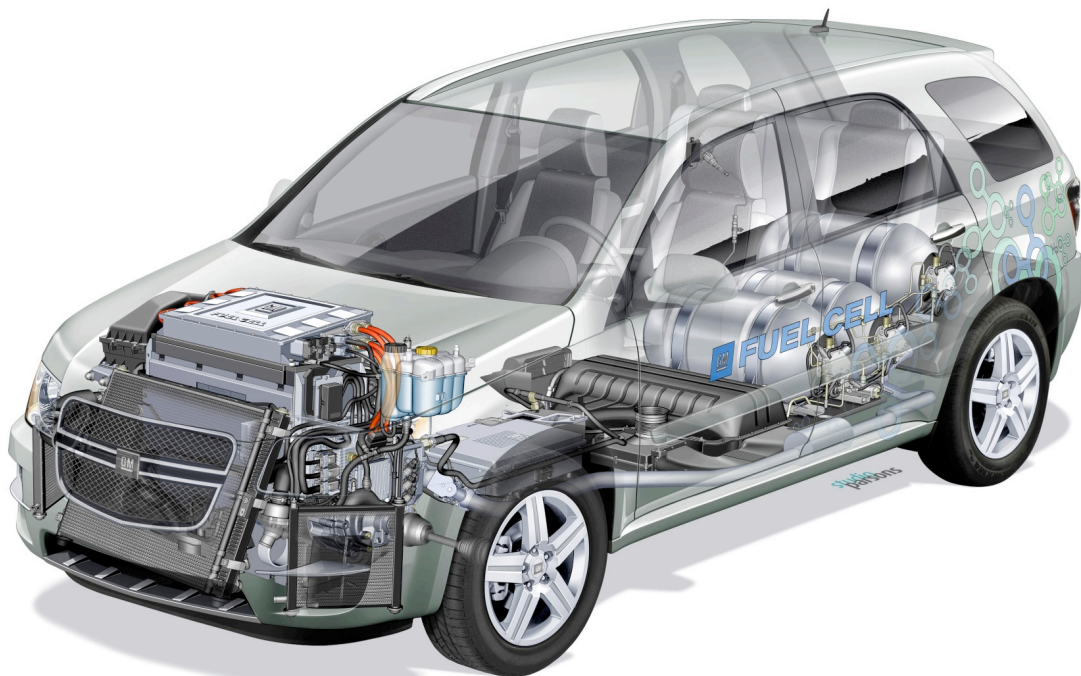


Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz

Kursbuch



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Vorwort	3
2. Einführung	4
2.1. Antriebe von Kraftfahrzeugen	4
2.2. Sicherheit von Fahrzeugantrieben.....	5
3. Benzin- und Dieselantrieb.....	6
4. Erdgasantrieb	7
4.1. Funktion des Erdgasantriebs	7
4.2. Sicherheitseinrichtungen der Erdgasanlage	8
4.3. Physikalische Eigenschaften von Erdgas	10
4.4. Einsatztaktische Überlegungen und Einsatzbeispiele	10
5. Flüssiggas-/Autogasantrieb	13
5.1. Funktion des Flüssiggasantriebs.....	13
5.2. Sicherheitseinrichtungen der Flüssiggasanlage	14
5.3. Physikalische Eigenschaften von Flüssiggas.....	15
5.4. Einsatztaktische Überlegungen und Einsatzbeispiele	16
6. Hybrid- und Elektroantrieb	17
6.1. Funktionsweise von Hybrid- und Elektroantrieben	17
6.2. Gefahren des elektrischen Stroms	22
6.3. Sicherheit des Hochvoltsystems	22
6.4. Einsatztaktische Überlegungen und Einsatzbeispiele	25
7. Wasserstoffantrieb	28
7.1. Funktion des Wasserstoffantriebs	28
7.2. Sicherheitseinrichtungen der Wasserstoff- und Hochvoltanlage	29
7.3. Physikalische Eigenschaften von Wasserstoff	30
7.4. Einsatztaktische Überlegungen und Einsatzbeispiele	30
8. Hinweise für den Einsatz	32
8.1. Einleitung	32
8.2. Vorsichtige Annäherung	33
8.3. Antriebsart identifizieren	34
8.4. Gasaustritt ausschließen/unterbinden.....	37
8.5. Fahrzeug gegen wegrollen sichern	40
8.6. Antrieb deaktivieren	41
8.7. Mit Vorsicht arbeiten.....	45
8.8. Fahrzeugbrände.....	46
8.9. Fahrzeug im Wasser.....	47
9. Ideen für die Ausbildung.....	48
9.1. Airbagkennzeichnungen anbringen, Airbags „einbauen“	48
9.2. Batterie "einbauen"	49
9.3. Alternativen Antrieb "montieren"	49
9.4. Fahrzeugidentifikation ermöglichen	50
10. Quellen und weiterführende Literatur.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Anhang A: Crash Recovery System Symbole.....	51
Anhang B: Crash Recovery System Kurzanleitung	55
Anhang C: Einsatzszenarien für die praktische Ausbildung	56
Anhang D: Checkliste Show-and-tell	57

1. Vorwort

Der Anteil von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben auf unseren Straßen nimmt permanent zu. Immer mehr Hersteller bringen derartige Fahrzeuge in Serie auf den Markt und auch Umrüstungen sind häufig erhältlich. Mehr als 520.000 Kraftfahrzeuge sind alleine in Deutschland zur Zeit mit einem alternativen Antrieb ausgerüstet und der Anteil steigt permanent weiter.

	Deutschland	Niederlande
Benzin	30.487.578	6.177.413
Diesel	11.266.644	1.334.678
Hybrid-/Elektro	39.563	39.962
Erdgas (CNG)	71.519	560
Flüssiggas (LPG)	418.659	222.838

Im immer komplexer werdenden Umfeld moderner Kraftfahrzeuge müssen sich auch Einsatzkräfte der Feuerwehr auf die Besonderheiten alternativ angetriebener Fahrzeuge einstellen. Mit dem Seminar „Alternative Fahrzeugantriebe im Feuerwehreinsatz“ können Sie Ihre Einsatzkräfte optimal auf mögliche Einsatzsituationen vorbereiten, z.B. bei verschiedenen Verkehrsunfallszenarien, Fahrzeugbränden oder auch bei Gasgeruch. Um einen möglichst hohen Praxisbezug zu erreichen enthält dieses Kursbuch neben umfangreichen Informationen zu den verschiedenen alternativ angetriebenen Fahrzeugen auch Ideen für die praktische Ausbildung.

Ziel dieses Kursbuches ist es, den Trainer mit dem notwendigen Hintergrundwissen zu den Fahrzeugen zu versorgen. Dabei liegen die Schwerpunkte allerdings nicht auf der detaillierten Beschreibung der Funktionsweise der Fahrzeuge sondern auf den Aspekten, die für Einsatzkräfte von Bedeutung sind. Dies gilt insbesondere für die Sicherheitseinrichtungen der Antriebskomponenten. Sind die Grenzen der verwendeten Sicherheitskomponenten bekannt, kann der Einsatz entsprechend angepasst werden.

Das Kursbuch soll den Trainern vermitteln, was Einsatzkräfte wirklich wissen müssen!

2. Einführung

2.1. Antriebe von Kraftfahrzeugen

- Kraftfahrzeuge können sowohl mit Verbrennungsmotoren als auch mit Elektromotoren angetrieben werden.
- In einem **Verbrennungsmotor** können verschiedene Betriebsmittel zum Einsatz kommen. Neben den Klassikern Benzin bzw. Diesel sind dies auch gasförmige Betriebsmittel, z.B. Erdgas, Flüssiggas oder Wasserstoff.
- **Elektromotoren** benötigen zum Betrieb Strom. Dieser kann entweder von einer Batterie bereitgestellt werden oder an Bord mit Hilfe einer Brennstoffzelle produziert werden.
- Eine Kombination aus zwei verschiedenen Motoren wird als **Hybridantrieb** bezeichnet. Der Hybridantrieb versucht die Vorteile beider Motoren miteinander zu kombinieren.
- Können in einem Motor mehrer Betriebsmittel verwendet werden, wird der Antrieb als **bivalenter** Antrieb bezeichnet. Antriebe mit nur einem Betriebsmittel werden hingegen als **monovalent** bezeichnet, wobei Fahrzeuge, die über einen Nottank von weniger als 15 Litern verfügen oftmals auch als monovalent geführt werden.

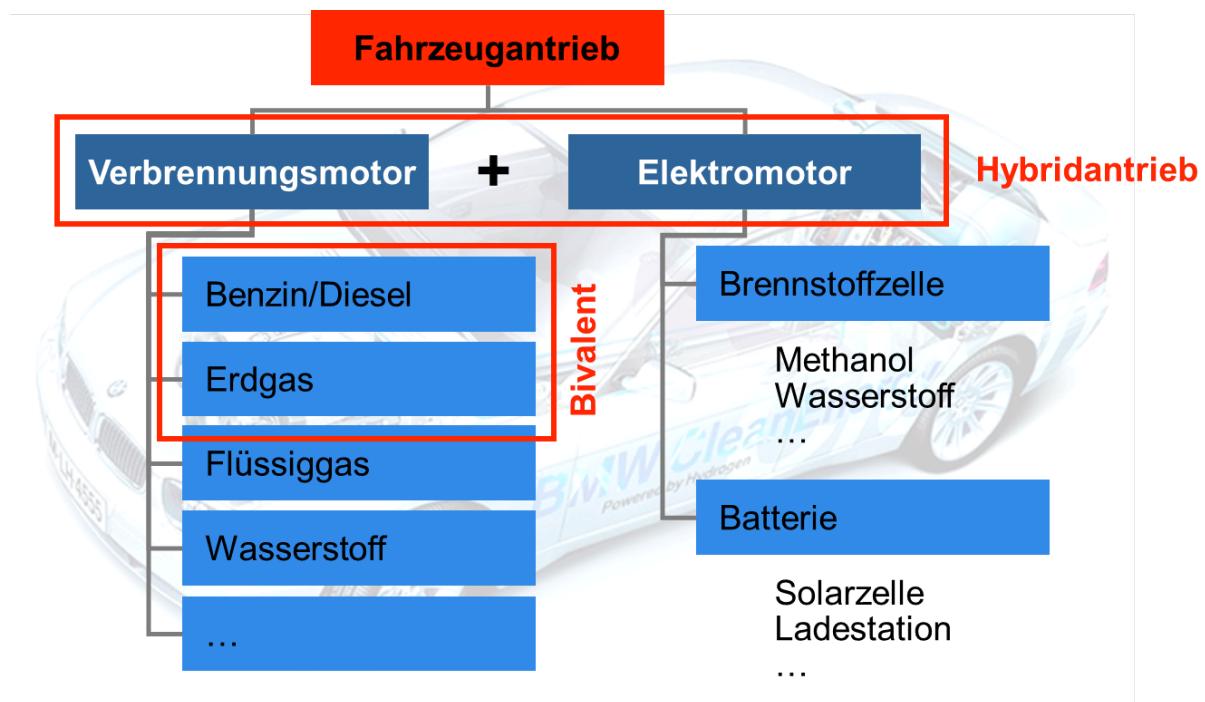


Abbildung 1: Unterteilung und Terminologie der Fahrzeugantriebe

2.2. Sicherheit von Fahrzeugantrieben

- Die Sicherheit des Fahrzeugs und auch des Fahrzeugantriebs spielt für die Fahrzeughersteller bei der Entwicklung eine entscheidende Rolle. Kein Hersteller der Welt kann es sich erlauben, ein potentiell unsicheres Fahrzeug auf den Markt zu bringen.
- Die Fahrzeughersteller müssen bei der Entwicklung der Fahrzeuge diverse **gesetzliche Regelungen** einhalten, so beispielsweise die Richtlinie ECE-R 100 für Elektrofahrzeuge, Richtlinie ECE-R 110 für Fahrzeuge mit Erdgasantrieb und ECE-R 67 für Fahrzeuge mit Flüssiggasantrieb.
- Diese Richtlinie schreiben auch die notwendigen Sicherungsmaßnahmen und Prüfmethoden für die Antriebskomponenten vor. Auch in Crash Tests (z.B. nach EuroNCAP) stellen die Fahrzeuge ihre Sicherheit unter Beweis.
- Vereinfacht kann von drei verschiedenen Grundprinzipien gesprochen werden, um den Betrieb von alternativ angetriebenen Fahrzeugen sicher zu machen:

- **Geschützter Einbau**

Komponenten, wie beispielsweise Fahrzeugtanks, Hochvoltbatterien, Brennstoffzellen oder Gastanks werden von den Herstellern an Orten im Fahrzeug eingebaut, die erfahrungsgemäß bei den meisten Unfällen nicht betroffen sind. Dies betrifft insbesondere den Bereich über bzw. vor der Hinterachse, den Bereich des Rücksitzes bzw. des Mitteltunnels oder auch den Bereich der Spritzwand im Motorraum.

- **Abschaltung bei Erkennung eines Störfalls**

Moderne Fahrzeuge verfügen in der Regel über ein ausgeklügeltes System aus Sicherheitsgurten, Gurtstraffern, Airbags (SRS) und anderen Komponenten um die Fahrzeuginsassen bei einem Unfall zu schützen. Mit Hilfe des Steuergerätes dieser Rückhaltesysteme wird bei der Erkennung eines Unfalls bei vielen Fahrzeugen auch automatisch der Antrieb abgeschaltet, um potentielle Gefahren zu reduzieren.

Zudem ist es möglich, den Antrieb z.B. auch bei der Erkennung einer Leckage (gasbetriebene Fahrzeuge) oder eines Isolationsfehlers (Elektrofahrzeuge) abzuschalten. Beides setzt allerdings auch hier die Detektion des Störfalls voraus.

- **Verhinderung von Explosionen**

Durch Sicherheitseinrichtungen soll verhindert werden, dass von den Betriebsmitteln und deren Speichern eine Gefahr ausgeht. Dies betrifft insbesondere alle Speicher für gasförmige Stoffe, da der Innendruck bei einer Temperaturbeaufschlagung, z.B. bei einem Fahrzeugbrand, steigt und die Gefahr besteht, dass die Tanks bersten. Aus diesem Grund sind die Tanks mit PRDs (Pressure Relief Device) ausgestattet, die bei einem zu hohen Druck oder einer zu hohen Temperatur das Gas gezielt abblasen. Im Falle eines Fahrzeugbrandes entzündet sich das Gas außerhalb des Tanks und fackelt ab.

3. Benzin- und Dieselantrieb

- Der Fahrzeugantrieb mit Benzin- bzw. Diesel ist der am häufigsten verwendete Fahrzeugantrieb.
- Die unter 2.2. genannten Grundprinzipien sind auch für Fahrzeuge mit Benzin- oder Dieselantrieb gültig.
- Durch den Einbau des Tanks im Bereich über bzw. vor der Hinterachse soll eine Beschädigung des Tanks und ein Austritt von Betriebsmittel bei einem Unfall verhindert werden. Die Brandgefahr ist am geringsten, wenn der Kraftstoff nicht austritt.
- Um die weitere Förderung von Kraftstoff zu unterbinden wird bei vielen Fahrzeugen bei der Erkennung eines Unfalls automatisch die **Kraftstoffpumpe abgeschaltet**. Diese kann dann keinen Kraftstoff mehr fördern der sich z.B. im Motorraum entzünden könnte. Eine weitere mögliche Maßnahme ist das Ausschalten der Standheizung.
- Um die Gefahr von Kurzschlüssen im Motorraum und damit die Gefahr einer Brandentstehung zu reduzieren verwenden viele Hersteller an den Fahrzeugbatterien, die nicht im Motorraum eingebaut sind, sogenannte **Sicherheitsbatterieklappen**. Diese trennen die Batterie-Plusleitung die zum Generator läuft pyrotechnisch ab, um so Kurzschlüsse zu verhindern. Die weiteren elektrischen Systeme des Fahrzeugs, z.B. die Rückhaltesysteme sowie die Beleuchtung werden aber weiter mit Spannung versorgt.
- Bei einigen Fahrzeugen (u.a. auch älteren Baujahres) sind Trägheitsschalter, sog. **Inertia-Switches** im Einsatz. Diese Schalter sorgen bei Erkennung eines Unfalls dafür, dass die Kraftstoffpumpe abgeschaltet wird und kein Kraftstoff mehr gefördert werden kann. Diese Schalter sind unabhängig von den Rückhaltesystemen und reagieren auf Beschleunigungen bzw. Verzögerungen, die gewisse Grenzwerte überschreiten.

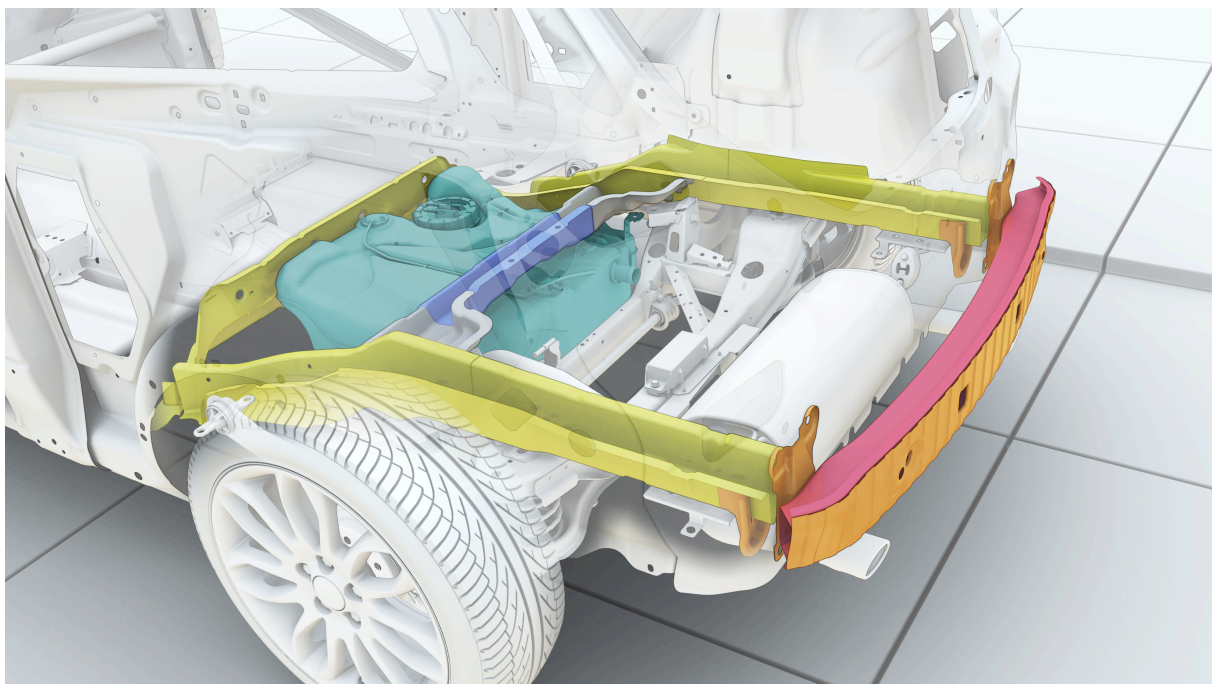


Abbildung 2: Geschützter Einbau des Kraftstofftanks im Bereich der Hinterachse (Grafik: Volvo)

4. Erdgasantrieb

4.1. Funktion des Erdgasantriebs



Abbildung 3: Erdgasfahrzeug Volkswagen Touran Ecofuel (Quelle: Volkswagen AG)

- Fahrzeuge mit Erdgasantrieb werden von vielen Herstellern direkt in Serie produziert und ab Werk zum Kauf angeboten. Beispiele:
 - Citroen C3 Bivalent
 - Fiat Doblo Natural Power
 - Ford C-Max CNG (Compressed Natural Gas)
 - Mercedes-Benz B-Klasse NGT (Natural Gas Technology)
 - Mercedes-Benz Econic NGT LKW
 - Opel Zafira CNG
 - Volvo S60 Bi-Fuel
 - Volkswagen Touran Ecofuel
- Der nachträgliche Einbau einer Erdgasanlage in Fahrzeugen ist möglich.
- Erdgasfahrzeuge sind sowohl in monovalenter Ausführung (d.h. ohne Benzintank bzw. mit einem Benzin-Nottank) als auch in bivalenter Ausführung erhältlich.
- Der Motor eines Erdgasfahrzeugs entspricht i.d.R. einem herkömmlichen Verbrennungsmotor (Ottomotor). Anstatt eines Benzin-Luft-Gemisches wird ein aufbereitetes Erdgas-Luft-Gemisch in den Zylindern verbrannt. Der Fahrer kann i.d.R. mit einem Schalter wählen, ob das Fahrzeug mit Benzin oder Erdgas betrieben werden soll.

- Um eine ausreichende Menge Erdgas mitführen zu können sind im Fahrzeug eine Reihe von Erdgastanks montiert. In der Regel wird das Erdgas dort unter einem maximalen Druck von 200 bar komprimiert mitgeführt (CNG = Compressed Natural Gas, GNC = Gaz Naturel Comprimé).
- Die Erdgastanks können sowohl aus Stahl als auch aus kohlefaserverstärktem Kunstharz (CFK) bestehen. Die Tanks sind sehr stabil, so dass eine mechanische Beschädigung durch einen Unfall sehr unwahrscheinlich ist.
- Erdgastanks befinden sich i.d.R. an geschützten Einbauorten und können entweder längs oder quer zur Fahrtrichtung eingebaut sein. Gängige Einbauorte sind der Bereich der Hinterachse oder der Mitteltunnel des Fahrzeugs sowie der Kofferraum. Bei Transportern und LKW sind die Tanks häufig am Fahrgestellrahmen montiert.
- Das Erdgas gelangt im Regelfall über Edelstahl-Leitungen, die am Fahrzeugboden verlegt sind, zum Druckregler im Motorraum. Dort wird der Druck auf den erforderlichen Druck für den Motor reduziert und das Gas anschließend an den Motor zur Verbrennung weitergeleitet.
- Sind Erdgastanks im Fahrzeuginnenraum eingebaut verfügen die Leitungen über eine gasdichte Ummantelung aus Kunststoffrohren um bei einer Leckage das Gas ins Freie abzuleiten.

4.2. Sicherheitseinrichtungen der Erdgasanlage

- An jedem Gastank befindet sich ein Flaschenventil (Sicherheitsventil), welches verschiedene Sicherheitsfunktionen miteinander vereint:
- **Elektromagnetisches Absperrventil**

Die elektromagnetischen Absperrventile werden vom Motorsteuergerät während des Erdgasbetriebes angesteuert. Werden die Absperrventile nicht bestromt, schließen sie automatisch. Beim Betanken öffnen sie durch den Befülldruck des Erdgases.

Im Erdgasbetrieb wird das elektromagnetische Absperrventil bestromt. Durch das Magnetfeld wird das Ventil nach oben gezogen und öffnet den Zugang zum Erdgastank. Wird der Erdgasbetrieb beendet, schaltet das Motorsteuergerät die Stromversorgung ab und durch die Feder wird das Ventil wieder nach unten gedrückt.

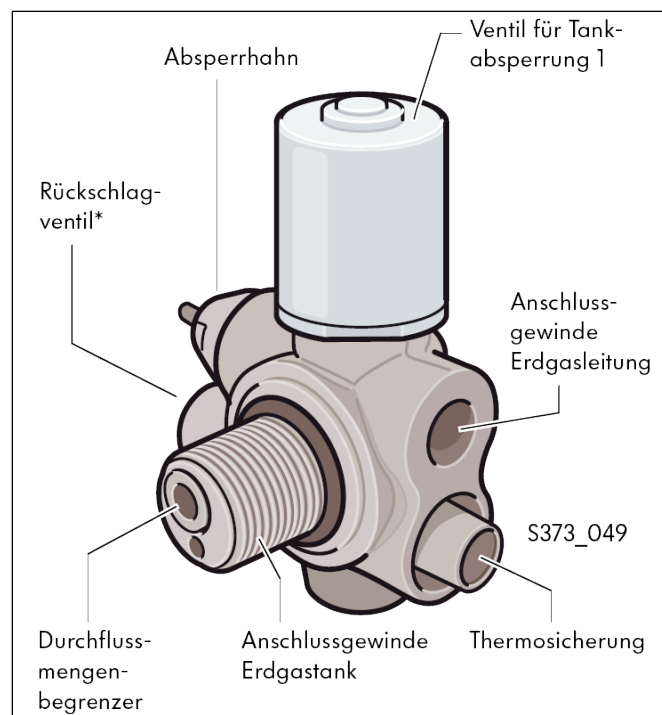


Abbildung 4: Beispiel für ein Flaschenventil an einem Erdgastank (Quelle: Volkswagen AG)

Das elektromagnetische Absperrventil schließt (je nach Hersteller) z.B. beim Umschalten auf Benzinbetrieb, beim Abstellen des Motors, im Falle eines Unfalls mit Airbag- und/oder

Gurtstrafferauslösung oder beim Verlust der Spannungsversorgung des Ventils automatisch.

- **Durchflussmengenbegrenzer**

Der Durchflussmengenbegrenzer verhindert das ungewollte, schlagartige Ausströmen von Erdgas aus den Erdgastanks nach einer Beschädigung der Erdgasleitung oder bei Beschädigung des Gasdruckreglers.

Ist der Druck im Erdgastank um ca. 2 bar höher als in der Leitung (z.B. nach einem Leitungsabriss), wird der Dichtkegel durch den Druck im Erdgastank in den Dichtsitz gedrückt und es kann nur noch eine geringe Menge Erdgas austreten. Dies ist notwendig, damit der Tank sich beim Einstellen von gleichen Druckverhältnissen auch wieder öffnen kann. Durch Betätigung des mechanischen Absperrventils kann der Gasaustritt vollständig unterbunden werden.

Hat der Durchflussmengenbegrenzer angesprochen, dauert das Entleeren eines vollen Erdgastanks bis zu sieben Stunden.

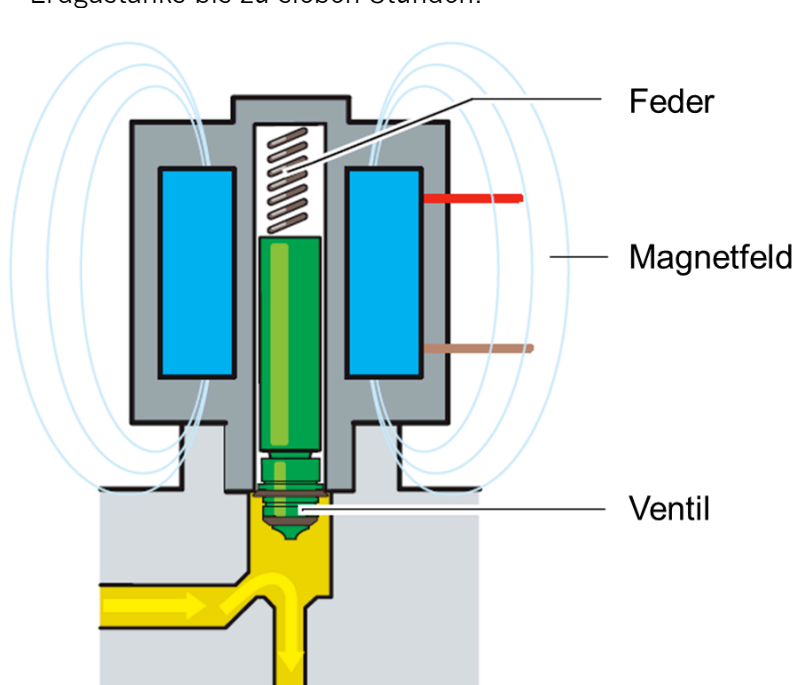


Abbildung 5: Funktionsweise des elektromagnetischen Absperrventils (Grafik: Volkswagen)

- **Thermosicherung**

Die Thermosicherung (auch PRD: Pressure Relief Device) verhindert das Bersten des Erdgastanks durch übermäßigen Druckanstieg als Folge von hohen Temperaturen. Sie ist i.d.R. in das Flaschenventil integriert. Außerdem ist es möglich, dass an einem Tank zwei Thermosicherungen montiert sind.

Steigt die Temperatur im Bereich der Thermosicherung auf über 110 °C an, öffnet die Thermosicherung die Ablassöffnungen und das Erdgas kann aus dem Tank in die Atmosphäre entweichen. Hierzu ist die Thermosicherung z.B. als Schmelzsicherung ausgeführt. Es gibt auch Hersteller, die Glasröhrchen verwenden, die in ähnlicher Form auch bei Sprinkleranlagen zum Einsatz kommen. Ist der Ablassvorgang einmal gestartet kann er nicht mehr gestoppt werden. Bei einem vollen Erdgastank dauert das Abblasen des Erdgases bis zur vollständigen Entleerung ca. 90 Sekunden.

- **Berstscheibe**

Eine Berstscheibe verhindert einen übermäßigen Druckanstieg im Tank. Eine Einmal-Membran bricht beim Erreichen eines zu hohen Drucks im Tank (z.B. 300 bar). Ist dieser Vorgang einmal gestartet, kann es nicht mehr gestoppt werden.

Im Gegensatz zur Thermosicherung ist die Berstscheibe nicht vorgeschrieben und deshalb nicht zwangsläufig vorhanden.

- **Mechanisches Absperrventil**

Eine Handabspernung (mechanisches Absperrventil) erlaubt das manuelle Schließen des Gastanks, z.B. für Wartungsarbeiten oder bei einer Leckage im System. Der Ablasskanal zur Thermosicherung ist aus Sicherheitsgründen auch bei geschlossenem Absperrventil geöffnet. Das Schließen des mechanischen Absperrventils erfolgt normalerweise im Uhrzeigersinn, die Form des Absperrventils ist allerdings nicht genormt.

4.3. Physikalische Eigenschaften von Erdgas

- Erdgas (Methan, CH_4) ist ein farbloses brennbares Gas, das im Ursprungszustand geruchlos ist.
- Erdgas ist leichter als Luft (Dichteverhältnis Erdgas/Luft $\sim 0,6$) und verflüchtigt sich deshalb im Freien rasch!
- Erdgas ist odoriert (mit einem Geruchstoff versetzt), d.h. ein Erdgasaustritt kann bereits vor dem Erreichen der unteren Explosionsgrenze festgestellt werden.
- Der Explosionsbereich liegt zwischen 4 Vol% und 17 Vol% in Luft.
- Die Zündtemperatur liegt bei ca. 640 °C.

4.4. Einsatztaktische Überlegungen

- Eine potentielle Gefahr geht bei Erdgasfahrzeugen vom mitgeführten Erdgas und der damit vorhandenen Gefahr eines (brennenden) Gasaustritts bzw. einer Explosion aus. Bei der Erhitzung der Erdgastanks besteht die Gefahr eines Druckbehälterzerknalls.
- Durch die beschriebenen Sicherheitseinrichtungen werden diese Gefahren wirkungsvoll reduziert. Dennoch ist es wichtig zu wissen, wo die Grenzen der Sicherheitseinrichtungen liegen:

Unfälle im Fahrbetrieb

- Bei Erkennung eines Unfalls durch das Airbagsteuergerät mit Auslösung von Gurtstraffern und/oder Airbags wird das elektromagnetische Absperrventil geschlossen. Allerdings verfügen nicht alle Fahrzeuge über Airbags und es gibt bestimmte Unfallarten, die durch das Airbagsteuergerät nicht oder nur schwer erkannt werden können. Bei Fahrzeugüberschlägen oder auch bei einem schweren Heckaufprall werden bei vielen Fahrzeugen keine Airbags ausgelöst. In diesen Situationen wird deshalb u.U. kein Signal vom Airbagsteuergerät zum Schließen der elektromagnetischen Ventile ausgesendet.

Merke:

Die durch das Airbagsteuergerät ausgelösten Sicherheitsfunktionen (z.B. das Abschalten der Kraftstoffpumpe oder das Schließen der elektromagnetischen Absperrventile) können nur greifen, wenn der Unfall auch durch das Airbagsteuergerät erkannt wurde.

Merke:

Das Heraushängen von ausgelösten Airbags ist ein Indiz dafür, dass das Airbagsteuergerät den Unfall erkannt hat und Sicherheitsfunktionen ausgelöst wurden. Es sollte immer eine manuelle Deaktivierung vorgenommen werden!

- Auch wenn der Unfall durch das Airbagsteuergerät des Fahrzeugs nicht erkannt wird, ist es wahrscheinlich, dass die elektromagnetischen Absperrventile geschlossen werden, da keine Motordrehzahl mehr vorhanden ist.
- Ein Gasaustritt ist möglich, wenn eines der elektromagnetischen Absperrventile durch den Unfall mechanisch beschäftigt wird. In diesem Fall erkennt der Durchflussmengenbegrenzer die Leckage und begrenzt die austretende Gasmenge. Ein Gasaustritt aus einem vollen Erdgastank über den Durchflussmengenbegrenzer kann mehrere Stunden dauern.
- Außerdem sind Fälle bekannt, bei denen es zu Undichtigkeiten in anderen Bereichen des Flaschenventils bzw. der Leitungen gekommen ist. Dabei ist es wichtig zu wissen, dass Undichtigkeiten im Bereich der Thermosicherungen/Berstscheibe nicht durch die Betätigung des mechanischen Absperrventils gestoppt werden können. In diesen Fällen wird auch der Durchflussmengenbegrenzer nicht aktiv.
- Es ist unwahrscheinlich, dass die Gastanks von Erdgasfahrzeugen mechanisch so beschädigt werden, dass es zu einer Leckage kommt. Crashversuche haben gezeigt, dass die Tanks sehr stabil sind.

Fahrzeugbrände

- Bei einem Brand bei dem auch die Erdgastanks mit Hitze beaufschlagt werden sprechen ab einer Temperatur von ca. 110 °C (ggf. auch bei einem zu hohen Druck im Tank) die Thermosicherungen der Tanks an. Es kommt zum definierten Abblasen des Erdgases, welches sich entzündet und abfackelt.
- Bei einem vollen Erdgastank (200 bar) dauert das Abblasen des Erdgases bis zur vollständigen Entleerung ca. 90 Sekunden. Es ist möglich, dass die Thermosicherungen zeitversetzt ansprechen.

Merke:

Das Ansprechen einer Thermosicherung kann am lauten Abblasgeräusch (Zischen) erkannt werden!

Merke:

Ist die Thermosicherung einmal aktiviert, kann dieser Vorgang nicht mehr gestoppt werden.

Merke:

Je nach Lage des Fahrzeugs kann es beim Ansprechen der Thermosicherung zu einer Stichflamme kommen.

- Problematisch ist die Erkennung einer hohen Temperatur für die Thermosicherung immer dann, wenn die Gasflasche nur sehr punktuell mit Hitze beaufschlagt wird. Es sind Fälle bekannt, in denen es zum Zerknall von Gasflaschen eines Erdgasbuses kam, bei welchem die Gasflaschen punktuell durch ein Dachfenster beflammt wurden. Außerdem führt die punktuelle Beflammung zu einer punktuellen Schwächung der Behälterwand.



Abbildung 6: Brandversuch an einem Erdgasfahrzeug. Um einen Druckbehälterzerknall zu vermeiden sorgen die Thermosicherungen an den Erdgastanks für ein definiertes Ablasen des Erdgases bei Temperaturbeaufschlagung (Foto: ADAC)

5. Flüssiggas-/Autogasantrieb

5.1. Funktion des Flüssiggasantriebs

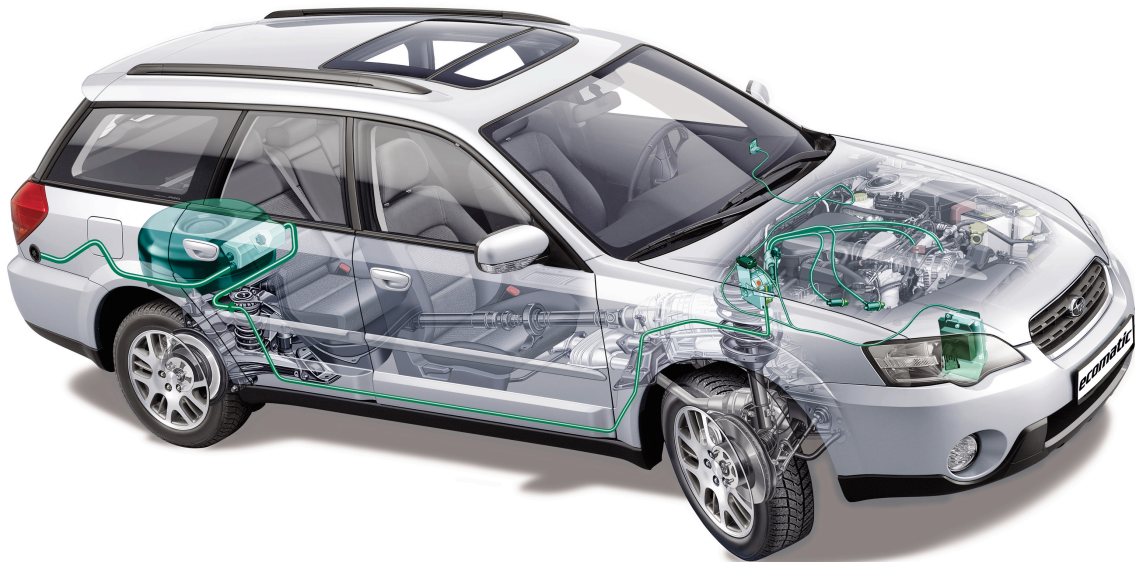


Abbildung 7: Fahrzeug mit Flüssiggasantrieb. Im Kofferraum kann der Flüssiggastank in der Reserveradmulde erkannt werden (Grafik: Subaru).

- Fahrzeuge mit Flüssiggasantrieb (auch Autogas bzw. LPG = Liquefied Petroleum Gas oder GPL= Gaz de Pétrole Liquéfiés) werden von vielen Herstellern direkt in Serie produziert und ab Werk zum Kauf angeboten. Beispiele:
 - Jeep Patriot Eco+
 - Volkswagen Golf BiFuel
 - Volvo S60 Bi-Fuel
- Auch der nachträgliche Einbau einer Flüssiggasanlage ist möglich und erfreut sich großer Beliebtheit. Flüssiggasanlagen können in fast allen benzinbetriebenen Fahrzeugen eingebaut werden.
- Flüssiggasfahrzeuge sind fast immer bivalent. In der Regel erfolgt der Start des Fahrzeugs mit Benzin, um den Verdampfer auf Betriebstemperatur zu bringen. Anschließend kann der Fahrer entscheiden, ob er mit Benzin oder Flüssiggas fahren möchte.
- Flüssiggas kann in Tanks unterschiedlicher Form gespeichert werden. Sehr häufig werden torische Tanks verwendet, die in die Reserveradmulde eingebaut werden. Außerdem ist der Einbau im Fahrzeuginnenraum oder am Fahrzeugboden möglich. Die Tanks bestehen aus Stahl und haben eine Wandstärke von ca. 3,5 mm.
- Sind Flüssiggastanks im Fahrzeuginnenraum eingebaut verfügen die Leitungen über eine gasdichte Ummantelung aus Kunststoffrohren um bei einer Leckage das Gas ins Freie abzuleiten.
- Der Gaseinfüllstutzen kann an vielen verschiedenen Orten eingebaut sein, z.B. unter dem normalen Tankdeckel aber auch im Bereich der Stoßfänger oder hinter dem

Fahrzeugkennzeichen. Der Gaseinfüllstutzen ist mit einem oder mehreren Rückschlagventil versehen. Dies verhindert, dass flüssiges Autogas in die entgegengesetzte Richtung strömen kann.

- Das Betanken erfolgt über ein geschlossenes System. Die maximale Füllmenge eines Flüssiggastanks beträgt 80% damit das Gas ausreichend Volumen zur Ausdehnung hat, z.B. im Sommer.
- Die Flüssiggasleitungen bestehen im Hochdruckbereich häufig aus Kupferrohr.

5.2. Sicherheitseinrichtungen der Flüssiggasanlage

- Flüssiggastanks sind mit einem Multiventil (Sicherheitsventil) ausgestattet, welches verschiedene Sicherheitsfunktionen miteinander vereint:

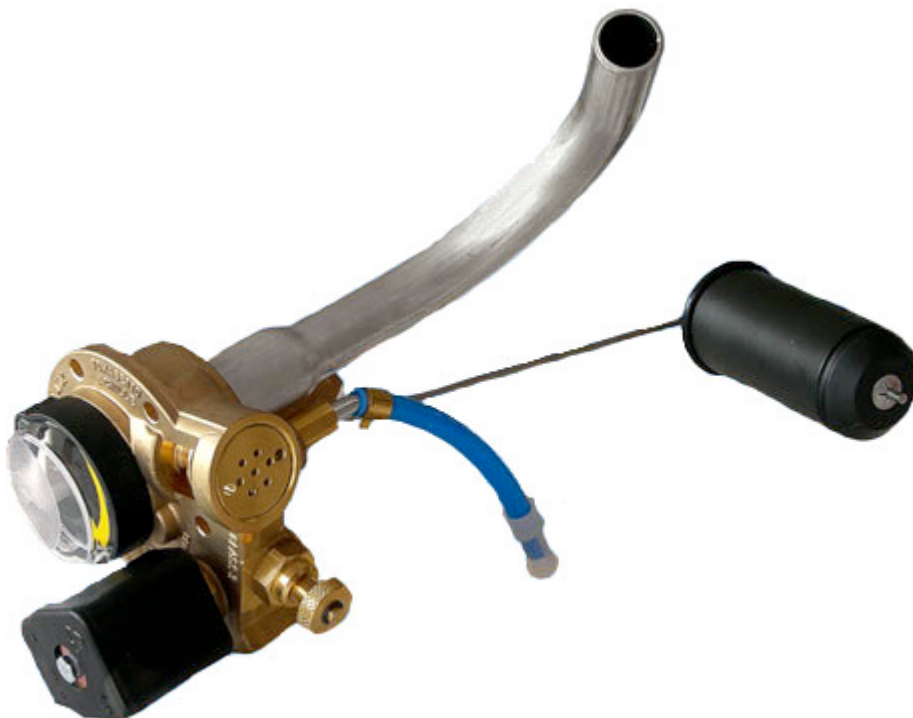


Abbildung 8: Multiventil eines Flüssiggastanks.

- **Elektromagnetisches Absperrventil**

Das elektromagnetische Absperrventil dient zur Unterbrechung der Gaszufuhr. Für den Gasbetrieb wird es geöffnet, beim Umschalten auf Benzinbetrieb, beim Abstellen des Motors, beim Verlust der Spannungsversorgung und ggf. auch bei Erkennung eines Unfalls schließt das Ventil automatisch.

Im Flüssiggasbetrieb wird das elektromagnetische Absperrventil bestromt. Durch das Magnetfeld wird das Ventil nach oben gezogen und öffnet den Zugang zum Flüssiggastank. Wird der Erdgasbetrieb beendet, schaltet das Motorsteuergerät die Stromversorgung ab und durch die Feder wird das Ventil wieder nach unten gedrückt.

- **Das Füllstoppventil**

Das Füllstoppventil dient zur Unterbrechung des Tankvorgangs wenn ein Füllstand von 80% erreicht ist. Das Ventil wird mechanisch über einen Schwimmer betätigt.

- **Das Überdruckventil**

Das Überdruckventil ist am Flüssiggastank verbaut. Es verhindert das Bersten des Autogastanks durch übermäßigen Druckanstieg als Folge von zu hohen Temperaturen (z.B. bei einem Fahrzeugbrand).

Sobald der Druck im Tank ca. 27 bar übersteigt, öffnet das Überdruckventil mechanisch. Das Flüssiggas wird abgeblasen und dabei ggf. über Entlüftungsschläuche aus dem Fahrgastraum geleitet, wo es abfackeln kann.

Ist der Druck abgebaut, schließt das Ventil wieder.

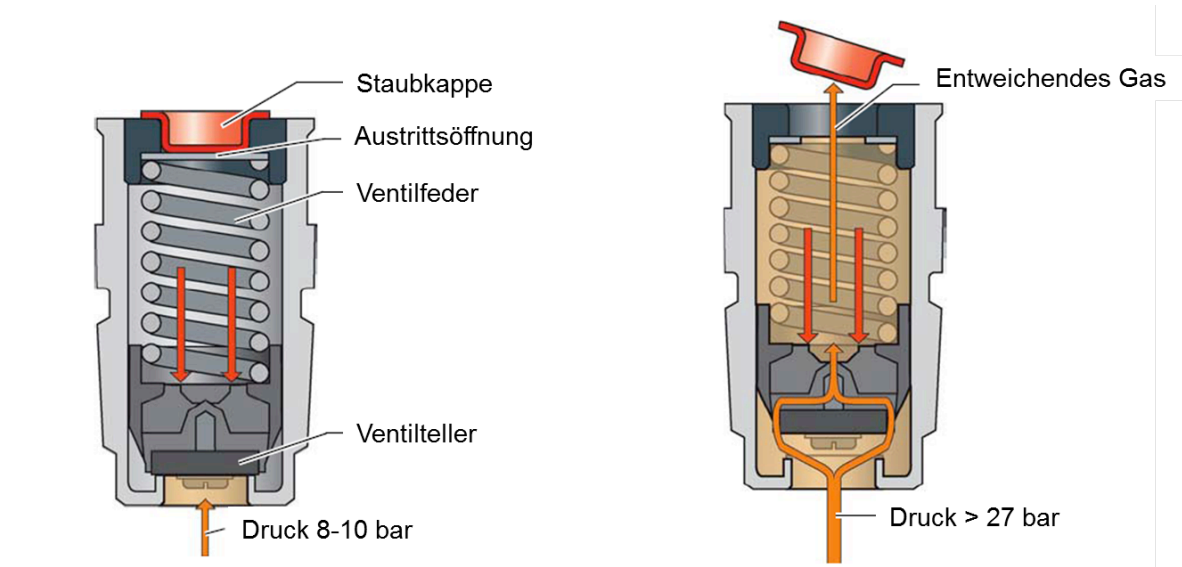


Abbildung 9: Funktion des Überdruckventils (Grafik: Volkswagen).

- **Mechanisches Absperrventil**

Eine Handabspernung (mechanisches Absperrventil) erlaubt ggf. das manuelle Schließen des Gastanks, z.B. für Wartungsarbeiten oder bei einer Leckage im System. Nicht alle Tanks verfügen jedoch über diese Absperreinrichtung. Die Funktion des Überdruckventils wird von der Handabspernung nicht beeinflusst.

5.3. Physikalische Eigenschaften von Flüssiggas

- Flüssiggas besteht hauptsächlich aus einem Gemisch aus Propan (ca. 60%) und Butan (ca. 40%).
- Flüssiggas ist bei einem Druck von 8 bar verflüssigt, wobei sich das Volumen erheblich verringert (1/260ste Teil des Ursprungsvolumens).
- Flüssiggas ist im gasförmigen Zustand schwerer als Luft (Dichteverhältnis Flüssiggas/Luft ~ 1,55) und verbreitet sich daher am Boden.
- Flüssiggas ist odorisiert (mit einem Geruchstoff versetzt), d.h. ein Flüssiggasaustritt kann bereits vor dem Erreichen der unteren Explosionsgrenze festgestellt werden.

- Der Explosionsbereich liegt zwischen 1,5 Vol% und 11 Vol% in Luft.
- Zündtemperatur ca. 460 °C

5.4. Einsatztaktische Überlegungen

Unfälle im Fahrbetrieb

- Bei einem Unfall soll durch das Schließen des elektromagnetischen Absperrventils der Austritt von Flüssiggas verhindert werden. Das elektromagnetische Ventil schließt z.B. bei Erkennung eines Unfalls oder auch beim Abstellen des Motors automatisch. Das Ventil ist stromlos geschlossen, d.h. das auch das Abklemmen der Batterie zum Schließen des Ventils führt.
- Ein Austritt von Flüssiggas ist denkbar, wenn der Flüssiggastank (Wandstärke ca. 3,5 mm) mechanisch beschädigt wird oder wenn das elektromagnetische Absperrventil mechanisch beschädigt wird.

Fahrzeugbrände

- Bei einem Brand bei dem auch der Flüssiggastank mit Hitze beaufschlagt wird spricht ab einem Druck von ca. 27 bar die Überdrucksicherung an. Es kommt zum definierten Abblasen des Flüssiggases, welches sich entzündet und abfackelt. Ist der Überdruck abgebaut, schließt das Ventil wieder.

Merke:

Das Überdruckventil welches im Multiventil integriert ist, öffnet nur solange bis der Überdruck im Tank wieder abgebaut ist. Anschließend schließt das Ventil wieder.

Merke:

Das Ansprechen des Überdruckventils kann am lauten Abblasgeräusch (Zischen) erkannt werden!

Merke:

Je nach Lage des Fahrzeugs kann es beim Ansprechen des Überdruckventils zu einer Stichflamme kommen.

- Es sind Fälle bekannt, in denen es bei Fahrzeugbränden zum Zerknall der Flüssiggastanks (BLEVE) gekommen ist. In diesen Fällen entsprach der Tank oder der Einbau ggf. nicht den gültigen Richtlinien. Dies ist von außen nicht zu erkennen.

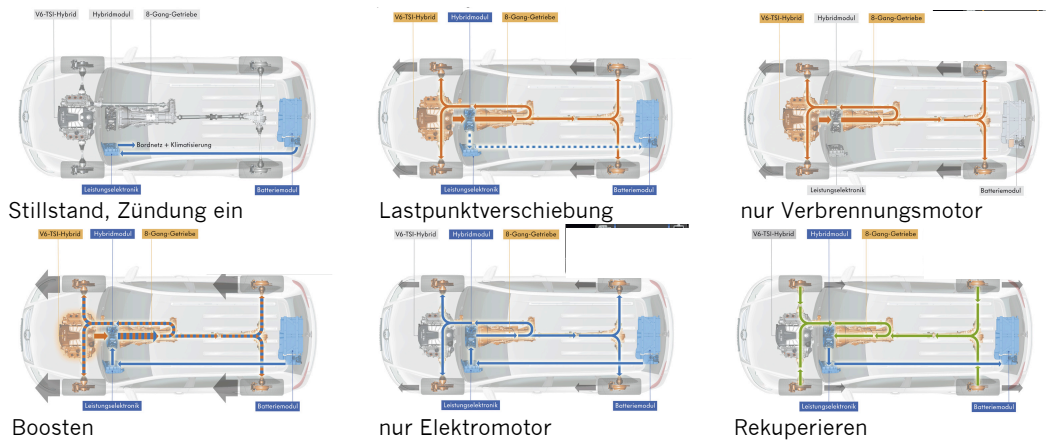
Merke:

Bei der Brandbekämpfung sollte mit Vorsicht und unter Ausnutzung möglicher Deckung vorgegangen werden.

6. Hybrid- und Elektroantrieb

6.1. Funktionsweise von Hybrid- und Elektroantrieben

- Elektromotoren haben den Vorteil, dass sie einen deutlich höheren Wirkungsgrad haben als Verbrennungsmotoren. Zudem besitzen sie eine vorteilhafte Drehmoment- und Leistungscharakteristik sowie lokale Emissionsfreiheit.
- Elektromotoren erfreuen sich deshalb auch bei Kraftfahrzeugantrieben (wieder) einer zunehmenden Beliebtheit. Sie sind dort in verschiedensten Fahrzeugkonzepten anzutreffen, deren genaue Unterscheidung für Einsatzkräfte jedoch wenig relevant ist.
- Grundsätzlich kann zwischen Hybrid- und Elektrofahrzeugen unterschieden werden. Die in Serie erhältlichen Hybridfahrzeuge verknüpfen den klassischen Verbrennungsmotor (mit Kraftstofftank) mit einem Elektromotor/Generator sowie einer Hochvoltbatterie als Energiespeicher. Bei einem Elektrofahrzeug erfolgt der Vortrieb ausschließlich über einen Elektromotor. I.d.R. ist kein Verbrennungsmotor mehr vorhanden (Ausnahme: Elektroantrieb mit Range-Extender).
- Hybrid- und Elektrofahrzeuge werden in zunehmendem Maße von den Fahrzeugherstellern in Serie produziert. Zusätzlich gibt es aber auch eine Reihe von Herstellern die Fahrzeuge auf Elektroantrieb umrüsten oder Elektrofahrzeuge in Kleinserien produzieren.
- **Beispielhafte Funktion eines Hybridantriebs (Vollhybrid):**
 - Im Stillstand (ggf. auch ohne eingeschaltete Zündung) ist es möglich, Komponenten des Fahrzeugs (z.B. die Klimaanlage) mit Hilfe der Hochvoltbatterie über einen längeren Zeitraum zu betreiben.
 - Beim Anfahren und beim Fahren mit geringer Geschwindigkeit wird (sofern die Hochvoltbatterie ausreichend geladen ist) der Elektromotor eingesetzt. Der Verbrennungsmotor wird nicht benötigt. Lärm- und Abgasbelastung werden reduziert. Das Hybridfahrzeug bewegt sich so emissionsfrei. Beim Erreichen einer gewissen Geschwindigkeit kommt der Elektromotor an sein Limit.
 - Bei gleichmäßiger Geschwindigkeit ist der Verbrennungsmotor wieder effizienter. Er übernimmt die Energieerzeugung und treibt das Auto an. Gleichzeitig kann er auch die Hochvoltbatterie aufladen. Für den Fall, dass plötzlich starke Kraftentfaltung gefordert ist (Überholen), arbeiten beide Motoren zusammen. Die Hochvoltbatterie speist zusätzliche Energie ein. So ist eine dynamische Leistungsentfaltung gewährleistet.
 - Beim Abbremsen oder bergab fahren wird keine Antriebsenergie benötigt. Es muss sogar Bewegungsenergie abgebaut werden. Beim normalen Fahrzeug geht diese Energie verloren. Beim Hybridfahrzeug wird aber der Elektromotor zum Generator. Er nutzt die Energie zum Aufladen der Hochvoltbatterie (Rekuperation). Erreicht die Hochvoltbatterie einen niedrigen Ladezustand, ist es außerdem möglich, durch die Erhöhung der Drehzahl des Verbrennungsmotors in einem Bereich mit höherem Wirkungsgrad die Hochvoltbatterie über den Generator wieder aufzuladen (Lastpunktverschiebung).



- **Microhybrid**

Grundsätzlich kennzeichnet ein Hybridfahrzeug das Vorhandensein zweier unterschiedlicher Antriebsquellen, was beim sogenannten Mikrohybrid nicht der Fall ist. Mikrohybridfahrzeuge verfügen über eine Start-Stopp-Automatik und Bremsenergierückgewinnung zum Laden der Starterbatterie bzw. des Starterkondensators.

- **Mildhybrid**

Beim Mildhybrid unterstützt der Elektromotor den Verbrennungsmotor zur Leistungssteigerung. Hierdurch ist beispielsweise der Einbau eines kleineren und energiesparenderen Motors möglich. Die Bremsenergie kann teilweise wiedergewonnen werden.

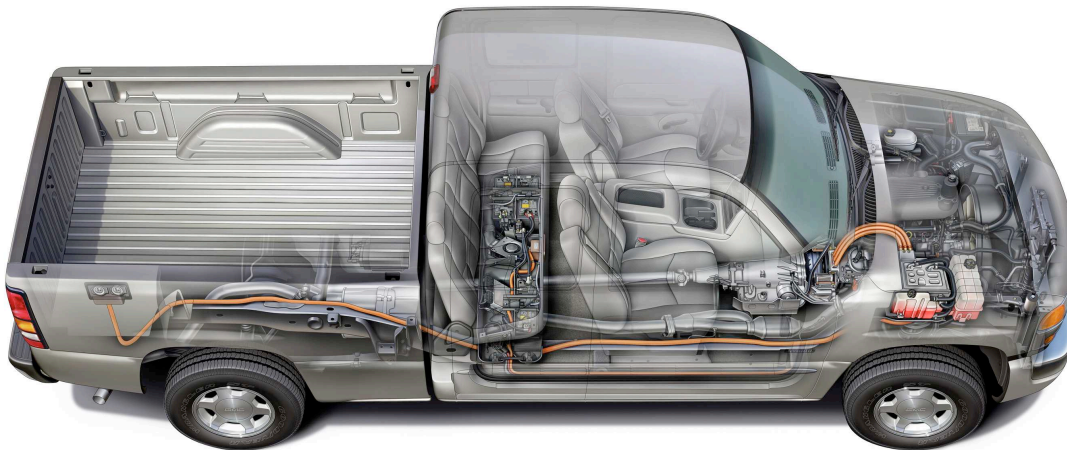


Abbildung 10: Chevrolet Silverado Hybrid, Mildhybrid (Grafik: GM)

Beispiele:

- BMW ActiveHybrid 7
- Honda Civic IMA
- Mercedes-Benz S400 Hybrid

- **Vollhybrid**

Vollhybridfahrzeuge sind in der Lage rein elektromotorisch zu fahren. Hierzu verfügen sie über einen größeren Energiespeicher (Hochvoltbatterie), welcher durch den Generator (z.B. im Schubetrieb) wieder aufgeladen wird.

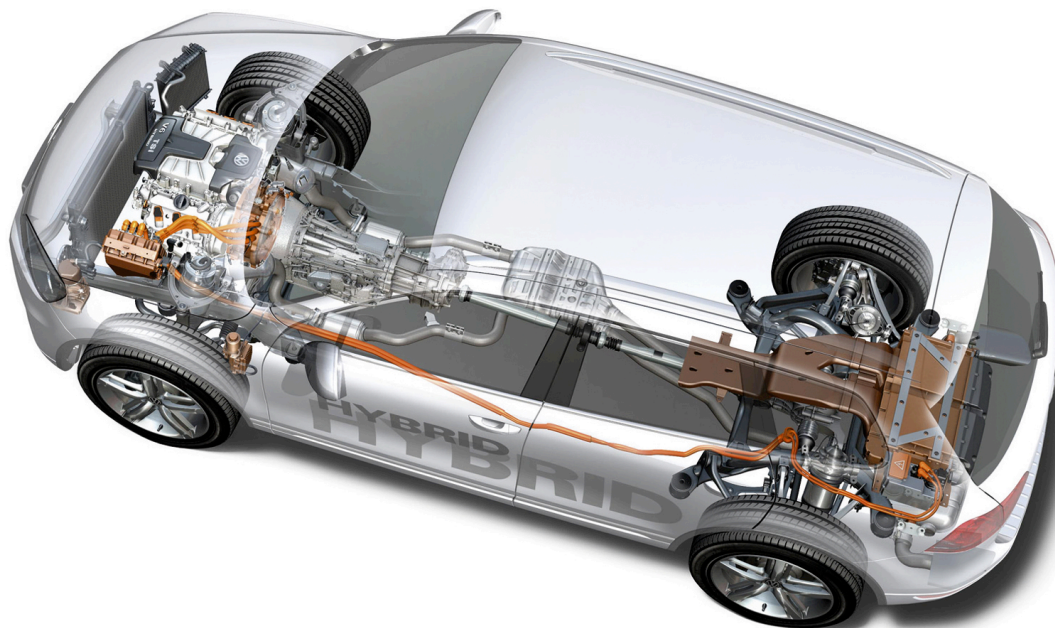


Abbildung 11: Volkswagen Touareg Hybrid, Vollhybrid (Grafik: Volkswagen)

Beispiele:

- Toyota Prius
- Lexus RX450h
- Volkswagen Touareg Hybrid
- Volvo FE Hybrid LKW

- **Plug-in-Hybride**

Eine Erweiterung sind Plug-in-Hybride (PHEV), bei denen die Hochvoltbatterie nicht mehr ausschließlich durch den Verbrennungsmotor, sondern zusätzlich auch am Stromnetz aufgeladen werden kann. Hierzu verfügen die Fahrzeuge zusätzlich über einen Ladeanschluss über den das Fahrzeug an eine Ladestation angeschlossen werden kann.

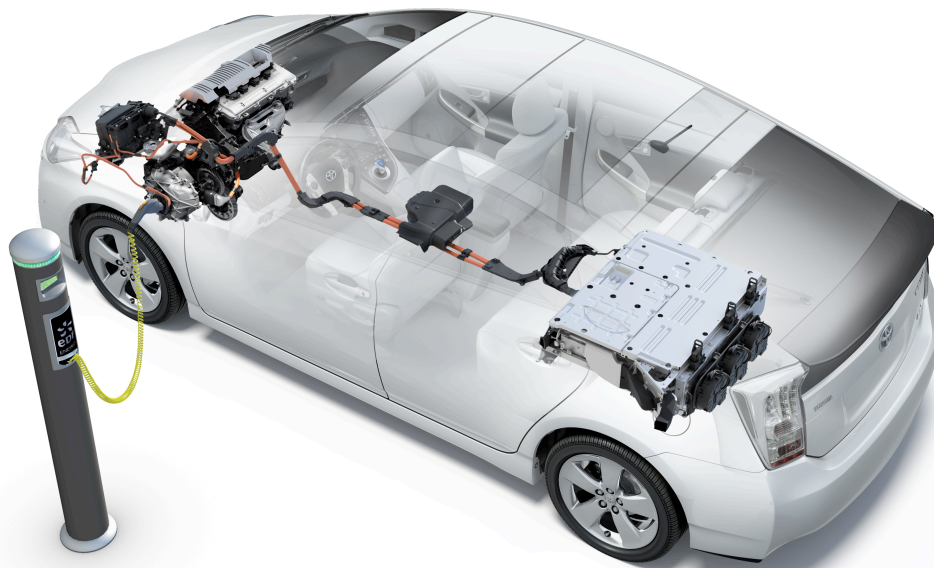


Abbildung 12: Toyota Prius PHV, Plug-In Hybrid (Grafik: Toyota)

Beispiele:

- Toyota Prius PHV
- **Elektroantrieb**

Bei einem Elektroantrieb erfolgt der Vortrieb ausschließlich durch einen Elektromotor. Dieser erhält den notwendigen Strom in der Regel von einer eingebauten Hochvoltbatterie, die im Bedarfsfall über eine oder mehrere Ladesteckdosen wieder aufgeladen werden kann.

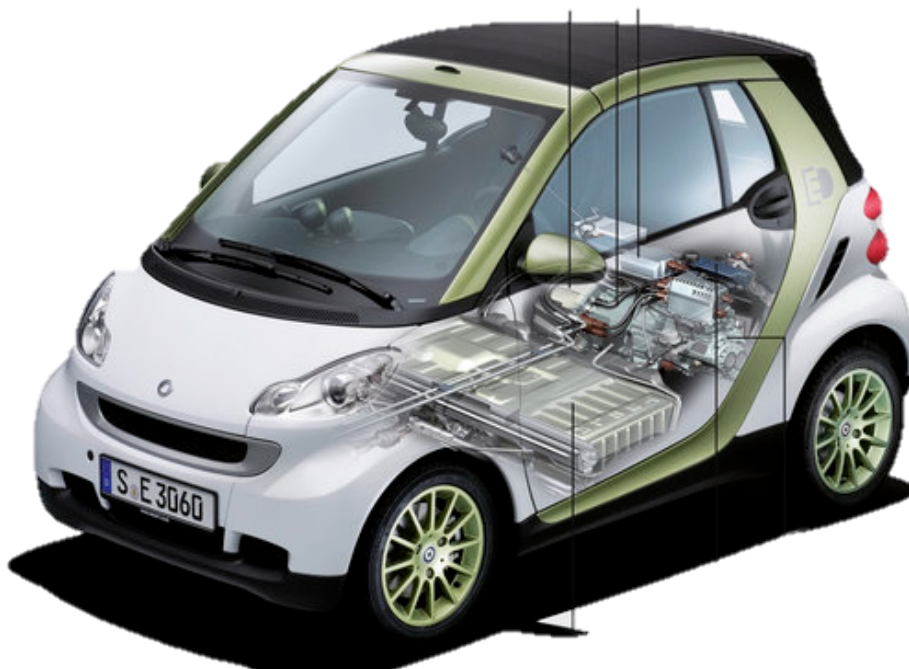


Abbildung 13: Smart electric drive Elektrofahrzeug (Grafik: Daimler)

Beispiele:

- Nissan Leaf
- Mitsubishi i-MiEV
- Peugeot ION
- Citroen Z-Zero
- Smart EV
- Think City

- **Elektroantrieb mit Range-Extender**

Eine Besonderheit stellen Elektrofahrzeuge mit einem sogenannten **Range Extender** (Reichweitenverlängerer) dar. Der Antrieb dieser Fahrzeug erfolgt ausschließlich über einen Elektromotor und über eine Hochvoltbatterie. Ist die Batterie leer startet ein eingebauter Verbrennungsmotor und erzeugt mit Hilfe des eingebauten Generators Strom zum Betrieb des Elektromotors. Die Batterie wird im Bedarfsfall über eine Ladesteckdose wieder aufgeladen. Beispiele:



Abbildung 14: Chevrolet Volt, Elektrofahrzeug mit Range Extender

- Opel Ampera
 - Chevrolet Volt
- Die Komponenten des Hybrid- und Elektroantriebs befinden sich in der Regel an geschützten Einbauorten im Fahrzeug:
 - **Hochvoltbatterien** befinden sich häufig im Bereich vor bzw. über der Hinterachse. Bei großen Batterien ist auch der Einbau am Fahrzeugboden bzw. im Mitteltunnel möglich. Kleine Batterien von milden Hybridfahrzeugen können ggf. auch im Motorraum eingebaut sein.
 - Bei den meisten Fahrzeugen kommen entweder **Nicke-Metall-Hybrid Batterien** (NiMH) oder **Lithium-Ionen-Batterien** (Lilon) zum Einsatz. Innerhalb der Batterie sind eine Vielzahl von Batteriezellen in Reihe geschaltet um die notwendige Spannung zu erreichen.

- **Hochvoltleitungen** verlaufen in der Regel am Unterboden des Fahrzeugs. Sie befinden sich dabei i.d.R. nicht unmittelbar am oder im Schweller sondern verlaufen mehr in der Fahrzeugmitte. Es ist möglich, dass die Leitungen nicht sichtbar sind weil sie durch Abdeckungen verdeckt sind oder in Kabelkanälen geführt sind.

6.2. Gefahren des elektrischen Stroms

- Die Spannung in Hybrid- und Elektrofahrzeuge beträgt je nach Fahrzeug zwischen 12 Volt und 650 Volt. Die Hochvoltbatterie liefert Gleichstrom, der von einem Spannungswandler in Wechselstrom für die Elektromotoren umgewandelt wird (DC/AC-Wandler). Gleichzeitig erzeugt ein Spannungswandler (DC/DC) z.B. auch 12 Volt Bordnetzspannung.
- Schon Wechselspannung von 25 Volt und Gleichspannung von 60 Volt sind für den Menschen gefährlich.
- Beim Berühren von unter Spannung stehenden Hochvoltkomponenten kann es zum Stromfluss durch den menschlichen Körper kommen. Schon Gleichströme (DC) ab etwa 300 mA können in Abhängigkeit von der Durchströmungsdauer reversible Störungen der Herzimpulse auftreten. Bei noch höheren Strömen treten zusätzlich schwere innere Verbrennungen auf und die Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ist gegeben.
- Zusätzlich besteht bei Kurzschluss der beiden Pole des Hochvoltsystems die Gefahr der Lichtbogenbildung und der Brandentstehung. Dies kann zu schweren äußeren Verbrennungen und zum Verblitzen der Augen führen.

6.3. Sicherheit des Hochvoltsystems

- Das Hochvoltsystem bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen arbeitet mit Spannungen bis zu 650 Volt, die für Insassen, Servicepersonal und auch Rettungskräfte eine potentielle Gefahr darstellen.

Merke:

Die elektrischen Komponenten des Elektroantriebs arbeiten in Spannungsbereichen oberhalb von 25 Volt Wechselspannung und 60 Volt Gleichspannung. Da die Spannung über der in konventionellen Fahrzeugen üblichen Spannung von 12 Volt liegt, wird für diesen Spannungsbereich in Fahrzeugen der Begriff „**Hochvolt**“ (HV) verwendet.

- Um die potentiellen Gefahren zu reduzieren gibt es eine Reihe von möglichen Sicherheitsmaßnahmen, z.B.:
 - Warneaufkleber, Kennzeichnung der Hochvoltkabel,
 - Berührungsschutz (direkt und indirekt),
 - Galvanische Trennung von Hochvoltsystem und 12 Volt Bordnetz,
 - Hochvolt-Interlock-System,
 - Entladeschaltungen für das Hochvoltsystem,
 - Deaktivierung bei Unfallerkennung,
 - Wartungsstecker.
- Komponenten der Hochvoltanlage sind auf ihren Gehäusen mit **Warneaufklebern** versehen, die auf die hohe Spannung und ggf. die Stromschlaggefahr hinweisen.



Abbildung 15: Warnaufkleber für Hochvoltkomponenten

- Hochvoltkabel (> 60 V) verfügen über eine spezielle Kennzeichnung, da Warnaufkleber hier keinen Sinn machen würden. Die Kabel verfügen Hochvoltkabel über auffällige **orangefarbene Isolierung**. Auch Stecker und Wartungsstecker können orange ausgeführt sein.
- Im Einbauzustand sind alle Hochvoltkomponenten so montiert, dass es nicht möglich ist durch Berührung von Komponenten, in direkten Kontakt mit der hohen Spannung zu kommen. Nach einem Unfall (bei dem das Hochvoltsystem nicht abgeschaltet wurde) ist es allerdings möglich, das Hochvoltkomponenten mechanisch beschädigt sind und hierdurch elektrische Fehler vorliegen.
- Deshalb verfügen die Hochvoltkabel neben der orangefarbenen äußeren Isolierung auch über ein zusätzliches Drahtgeflecht um den Kabelkern. Dieses dient dazu elektromagnetische Störungen zu reduzieren und Fehler in der Isolation zu erkennen.

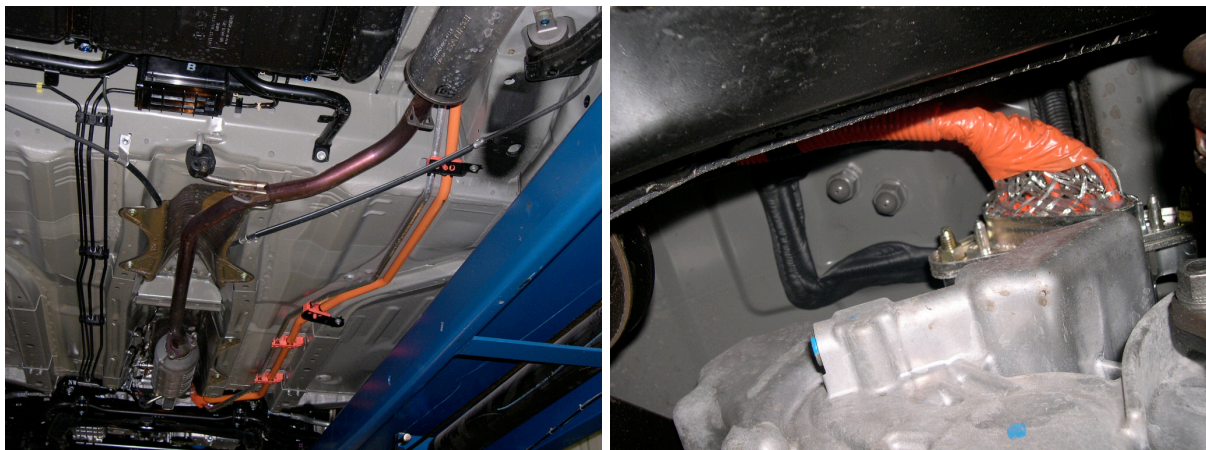


Abbildung 16: Hochvoltkabel am Fahrzeugboden von Hybridfahrzeugen (Honda Civic IMA, Lexus RX 400h) Im rechten Bild ist das Drahtgeflecht zu erkennen, welches u.a. zur Isolationsüberwachung dient.

- Das Hochvoltsystem ist **galvanisch** vom 12 Volt Bordnetz und damit von der Fahrzeugmasse **getrennt**. D.h. das weder der Plus- noch der Minuspol des Hochvoltsystems eine leitfähige Verbindung zur Fahrzeugmasse (Karosserie) oder zur Erde haben. Diese Netzform verfügt über eine erhöhte Sicherheit bei Fehlern der Isolation.

Beispiel:

Aufgrund eines elektrischen Fehlers oder einer Beschädigung steht das Gehäuse der Hochvoltbatterie unter Spannung. Berührt man das Gehäuse fließt keine Spannung durch den Körper, da der Stromkreis zur Spannungsquelle nicht geschlossen ist. Der Stromkreis wird auch nicht geschlossen, wenn man gleichzeitig mit der anderen Hand die Karosserie (Fahrzeugmasse) berührt. Die einzige Situation, in der es zum Stromfluss durch den Körper käme, wäre die gleichzeitige Berührung eines weiteren spannungsführenden Bauteils des Hochvoltsystems.

- Um derartige Fehler erkennen zu können verfügen die Fahrzeuge über eine **Isolationsüberwachung**, die Isolationsfehler erkennt und den Fahrer entsprechend informiert.
- Viele Hybrid- und Elektrofahrzeuge verfügen außerdem über ein **Hochvolt-Interlock-System** (auch Pilot- oder Sicherheitslinie) genannt. Dieses gewährleistet, dass das komplette Hochvoltssystem spannungslos geschaltet ist, sobald ein Hochvoltbauteil vom Netz getrennt wird. Das Hochvolt-Interlock-System ist eine elektrische Schaltung, die durch Sicherheitsstecker oder –schalter geschlossen wird. Wird diese Schaltung z.B. durch das Entfernen eines Sicherheitssteckers oder das Abschrauben einer angeschlossenen Abdeckung geöffnet, schaltet sich das Hochvoltssystem ab. Die Sicherheitsstecker müssen z.B. entfernt werden, bevor Hochvoltkabel aus den Hochvoltkomponenten abgezogen werden können. Ist das Hochvolt-Interlock-System nicht geschlossen, kann der Antrieb nicht gestartet werden.
- Zusätzlich zur Hochvoltbatterie gibt es im Hochvoltssystem noch weitere Hochvoltquellen, z.B. die Kondensatoren in der Leistungselektronik und die Spulen der Elektromotoren. Aus diesem Grund verwenden einige Hersteller **Entladeschaltungen**, die das Hochvoltssystem in bestimmten Situationen (z.B. erkannte Unfälle) aktiv entladen. Sind derartige Schaltungen nicht vorhanden oder werden sie (z.B. aufgrund fehlender Unfallerkennung) nicht wirksam, kann es einige Minuten (5 bis 10 Minuten) dauern, bis sich die Spannung im gesamten System abgebaut hat.
- An der Hochvoltbatterie befinden sich **Schutzrelais** (Schütze) oder Bauteile mit ähnlicher Funktion. Relais sind elektromagnetisch betätigter Schalter über die ein großer Arbeitsstrom mit einem geringen Steuerstrom an- und abgeschaltet werden kann.
- Die Schutzrelais werden für den Fahr- bzw. Ladebetrieb des Fahrzeugs geschlossen. Bei der **Erkennung eines Unfalls** durch das Airbagsteuergerät oder bei Unterbrechung des Hochvolt-Interlock-Systems wird die Stromversorgung der Schutzrelais unterbrochen, die Relais öffnen und das Hochvoltsystem fährt herunter.
- Bei Fahrzeugen, die über keine umfangreiche Ausstattung mit Rückhaltesystemen verfügen (z.B. Tesla Roadster, Think City) erfolgt die Deaktivierung des Antriebs i.d.R. über einen Trägheitsschalter (**Inertia Switch**). Ob der Trägheitsschalter ausgelöst hat, lässt sich von außen aber nur schwer erkennen.
- Im Fahrbetrieb erfolgt das Schließen der Schutzrelais nach einem Systemcheck durch das Einschalten der Zündung. Die Schutzrelais können wieder geöffnet werden, indem die Zündung ausgeschaltet wird.
- Bei eingeschaltetem Antrieb (Zündung ein) führt das **Abklemmen der 12 V-Batterie** unter Umständen **nicht zur Deaktivierung des Antriebs**. Dies hängt damit zusammen, dass ein Spannungswandler (DC/DC-Wandler) im Hochvoltssystem auch für die Versorgung des Bordnetzes verantwortlich ist und hierfür 12 V Spannung zur Verfügung stellt. Wird die 12 V-Batterie abgeklemmt wird das Bordnetz weiter mit Spannung versorgt und der Antrieb schaltet sich nicht ab.
- Für Wartungsarbeiten verfügen viele Fahrzeuge über **Wartungsstecker** (auch Service-Disconnect-Stecker genannt), der das Hochvoltssystem unterbricht. Häufig fungiert der Wartungsstecker als elektrische Brücke zwischen Teilen der Hochvoltbatterie. Ist der Stecker entfernt, ist der Stromkreis unterbrochen. Außerdem ist der Wartungsstecker häufig in den Hochvolt-Interlock-System integriert, d.h. das bereits beim Entriegeln des Wartungssteckers das Hochvolt-Interlock-System unterbrochen und so das Hochvoltsystem ausgeschaltet wird.



Abbildung 17: Beispiele für Wartungsstecker an unterschiedlichen Fahrzeugen

Merke:

Bei einigen Fahrzeugen dürfen Wartungsstecker bzw. Service-Disconnect-Stecker nur durch ausgebildetes Personal oder nur mit zusätzlicher Schutzausrüstung gezogen werden.

6.4. Einsatztaktische Überlegungen

- Zusätzliche Beachtung muss bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen dem Hochvoltsystem und den damit verbundenen Gefahren durch Elektrizität geschenkt werden. Außerdem ist zu beachten, dass Hybrid- und Elektrofahrzeuge betriebsbereit sein können, obwohl kein Motorgeräusch zu hören ist.

Unfälle im Fahrbetrieb

- Bei Unfällen soll der Antrieb durch Öffnen der Schutzrelais abgeschaltet werden. Hierdurch wird die Gefahr durch die hohe Spannung reduziert.

Merke:

Die durch das Airbagsteuergerät ausgelösten Sicherheitsfunktionen (z.B. das Abschalten der Kraftstoffpumpe oder das Öffnen der Schutzrelais) können nur greifen, wenn der Unfall auch durch das Airbagsteuergerät erkannt wurde.

Merke:

Das Heraushängen von ausgelösten Airbags ist ein Indiz dafür, dass das Airbagsteuergerät den Unfall erkannt hat und Sicherheitsfunktionen ausgelöst wurden. Es sollte immer eine manuelle Deaktivierung vorgenommen werden!

- Ob der Antrieb nach einem Unfall noch Betriebsbereit ist kann am sog. „Ready-Indicator“ erkannt werden.

Merke:

Das Ausschalten der Zündung ist die einfachste Maßnahme, die zum Öffnen der Schutzrelais an der Hochvoltbatterie führt. Dies ist notwendig, wenn der Unfall vom Airbagsteuergerät nicht erkannt wurde.

- Ist die Zündung des Fahrzeugs nicht zugänglich und der Antrieb noch aktiv gibt es fahrzeugspezifische Maßnahmen die zum Abschalten des Antriebs führen.

Merke:

Bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen führt das alleinige Abklemmen der 12 V-Fahrzeuggatterie bei eingeschaltetem Antrieb u.U. nicht zur Deaktivierung des Antriebs.

- Auch wenn der Antrieb abgeschaltet wurde, kann für einige Zeit noch hohe Spannung im System vorhanden sein. Die Hochvoltbatterie selbst behält ihr elektrisches Potential und sollte unter keinen Umständen beschädigt werden.

Merke:

Hochvoltkomponenten, insbesondere die Hochvoltbatterie, sollten niemals mechanisch beschädigt werden. Dafür ist es notwendig zu wissen, wo die Komponenten eingebaut sind.

Unfälle im Ladebetrieb

- Bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen, die über eine Ladesteckdose verfügen müssen die Schutzrelais an der Hochvoltbatterie natürlich auch zum Laden des Fahrzeugs geschlossen werden um Stromfluss in die Batterie zu ermöglichen.
- Im Ladebetrieb ist das Fahrzeug im Regelfall nicht einsatzbereit und die Zündung des Fahrzeugs ist ausgeschaltet. Aus diesem Grund kann auch keine Unfallerkennung über das Airbagsteuergerät des Fahrzeugs erfolgen.

Merke:

Im Ladebetrieb kann keine Unfallerkennung über das Airbagsteuergerät erfolgen. Bei Unfällen im Ladebetrieb wird das Hochvoltsystem deshalb i.d.R. nicht abgeschaltet.

- In einem solchen Fall sollte von den Einsatzkräften deshalb zuerst die Ladeverbindung zum Fahrzeug getrennt werden. Bevorzugt sollte die Stromverbindung dabei an der Stromquelle getrennt werden. Ist dies nicht möglich, kann die Verbindung zum Fahrzeug getrennt werden.

Fahrzeugbrände

- Bei Bränden von Hybridfahrzeugen muss mit dem Vorhandensein von Elektrizität und Reaktionen der brennenden Hochvoltbatterie gerechnet werden.
- Unter bestimmten Umständen ist es möglich, dass Teile der Hochvoltbatterie bei Temperaturbeaufschlagung platzen oder es zu heftigen Reaktionen mit dem Löschwasser kommt.

Merke:

Bei der Brandbekämpfung notwendige Strahlrohrabstände für Spannungen bis 1000 V einhalten.

Merke:

Gefahr einer heftigen Reaktion beim Brand von Hochvoltbatterien. Zur Brandbekämpfung sind große Mengen von Löschwasser erforderlich.

Merke:

Beschädigte Hochvoltbatterien auch bei einem Feuer in der Batterie niemals öffnen oder beschädigen – Stromschlaggefahr. Eine effektive Bekämpfung eines Brandes in der Batterie ist nicht möglich, Batterie kontrolliert ausbrennen lassen!

Fahrzeug im Wasser

- Aufgrund des Aufbaus des Hochvoltsystems besteht bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen besteht keine Gefahr, bei Berührung der Fahrzeugkarosserie einen Stromschlag zu erleiden.

7. Wasserstoffantrieb

7.1. Funktion des Wasserstoffantriebs

- Der Betrieb von Fahrzeugen mit Wasserstoff ist nach wie vor eine **Zukunftstechnologie**. Zwar gibt es einige Fahrzeughersteller, die über eine Flotte von Wasserstofffahrzeugen verfügt, von echter Serienproduktion kann aber zur Zeit noch nicht die Rede sein.
- Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten ein Fahrzeug mit Wasserstoff zu betreiben. Bei der ersten Variante wird der gespeicherte Wasserstoff direkt einem Verbrennungsmotor zugeführt.

Beispiel:

- BMW Hydrogen7



Abbildung 18: BMW Hydrogen7 Versuchsfahrzeug mit Wasserstoffantrieb. Bei diesem Fahrzeug wird der Wasserstoff bei -253 °C flüssig gespeichert und in einem Verbrennungsmotor verbrannt (Grafik: BMW).

- Bei der zweiten Variante wird mit Wasserstoff in einer Brennstoffzelle elektrischer Strom zum Betrieb eines Elektromotors erzeugt. Wie bei Hybridfahrzeugen werden zusätzlich Batterien eingesetzt, um Energiereserven für Zeiten mit hohem Leistungsbedarf bereitzustellen und um überschüssige Energie zu speichern.

Beispiel:

- GM Hydrogen4
- Honda FCX Clarity

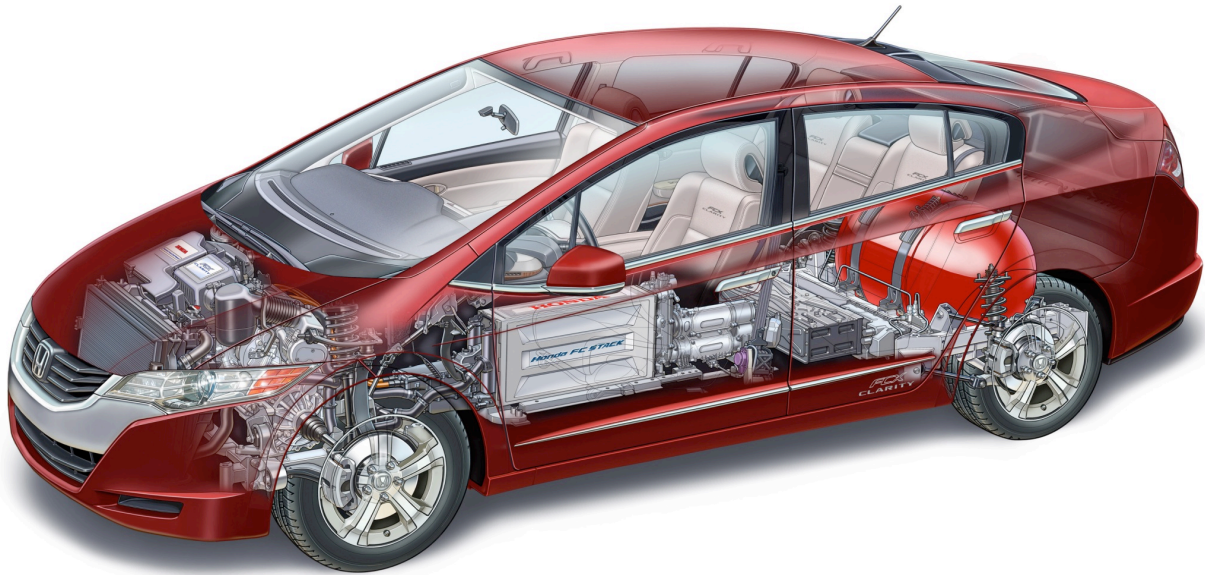


Abbildung 19: Honda FCX Clarity Versuchsfahrzeug mit Wasserstoffantrieb. Bei diesem Fahrzeug ist der Wasserstoff unter Druck (345 bar) gespeichert und wird einer Brennstoffzelle zugeführt. Dieser erzeugt Strom zum Antrieb eines Elektromotors. Auch eine Hochvoltbatterie ist vorhanden (Grafik: Honda).

- Wasserstoff kann entweder unter Druck (Druckwasserstoffspeicherung, GH₂) oder verflüssigt (Flüssigwasserstoffspeicherung, LH₂) gespeichert werden.
- Bei der **Druckwasserstoffspeicherung** wird der Wasserstoff in Gastanks aus Stahl oder CFK gespeichert. Die verwendete Technologie und die Sicherheitseinrichtungen sind mit denen von Erdgasfahrzeugen vergleichbar. Um eine ausreichende Menge Wasserstoff mitführen zu können, wird mit Drücken von bis zu 700 bar gearbeitet.
- Bei der **Flüssigwasserstoffspeicherung** wird der Wasserstoff in sogenannten Kryogentanks bei -253 °C verflüssigt gespeichert. Hierfür werden spezielle doppelwandige, isolierte Tanks verwendet, in denen der Wasserstoff ohne externe Kühlung gespeichert wird. Beim BMW Hydrogen7 entspricht die 3 cm dicke Isolation einer Styroporisolation von ca. 17 m (ein Schneemann im Tank wäre erst nach 13 Jahren komplett geschmolzen).
- Eine **Brennstoffzelle** ist ein elektrochemischer Wandler, in dem sich Wasserstoff und Sauerstoff in einem kontrollierten elektrochemischen Prozess zu Wasser verbinden. Aus dieser Verbindung können Strom und Wärme gewonnen werden.

7.2. Sicherheitseinrichtungen der Wasserstoff- und Hochvoltanlage

- Die Sicherheitseinrichtungen der Wasserstofftanks sind mit den Sicherheitseinrichtungen von Erdgas- bzw. Flüssiggasfahrzeugen vergleichbar. Bei einem zu hohen Druck bzw. zu hohen Temperaturen wird der Tankinhalt definiert ins Freie abgelassen.
- Bei einigen Fahrzeugen wird der Wasserstoff durch Abblasleitungen z.B. auf das Dach des Fahrzeugs geführt. Diese Abblasleitungen können sich auch in Fahrzeugsäulen befinden.
- Bei Kryogentanks entsteht ein Überdruck im Tank auch bei einer Beschädigung der Isolierung. In diesem Fall spricht das Überdruckventil an und der Tankinhalt wird abgelassen.

- In den Fahrzeugen sind oftmals Sensoren für Wasserstoff eingebaut, um Leckagen erkennen zu können. Ggf. erfolgt die Anzeige eines Gasalarms im Bereich des Armaturenbrettes oder in den Türpins. Einige Fahrzeuge öffnen bei einem Gasalarm selbstständig Fenster um für eine Belüftung des Innenraums zu sorgen.

Merke:

Das Abklemmen der Batterie führt auch zur Abschaltung der Gaswarnanlage.

- Die Sicherheitseinrichtungen des Hochvoltsystems sind mit den Sicherheitseinrichtungen bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen vergleichbar.
- Schutzrelais befinden sich bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen nicht nur an der Hochvoltbatterie, sondern auch an der Brennstoffzelle. Die Erzeugung von Strom innerhalb der Brennstoffzelle wird dabei auch durch das Unterbrechen der Wasserstoffzufuhr unterbrochen.

7.3. Physikalische Eigenschaften von Wasserstoff

- Wasserstoff (H_2) ist ein farbloses, geruch- und geschmackloses, brennbares Gas.
- Die untere Zündgrenze (UZG) liegt bei 4 Vol%, die obere Zündgrenze (OZG) liegt bei 76 Vol%. Das optimale (stöchiometrische) Gemisch mit Luft liegt bei 29,6 Vol%.
- Wasserstoff lässt sich, insbesondere bei höheren Konzentrationen, bereits mit minimaler Energie (0,02 Millijoule) entzünden (z.B. auch durch statische Aufladung).
- Wasserstoff brennt in der Luft rauchfrei mit einer bei Tageslicht kaum sichtbaren Flamme.
- Wasserstoff siedet bei $-253^\circ C$. Unterhalb dieser Temperatur spricht man von flüssigem Wasserstoff (auch LH_2 , Liquid Hydrogen).
- Wasserstoff ist leichter als Luft (Dichteverhältnis $\sim 1/15$), steigt schnell auf und ist flüchtig. Wasserstoff ist das leichteste Gas.

7.4. Einsatztaktische Überlegungen

- Grundsätzlich lassen sich die Überlegungen die bisher für gasbetriebene Fahrzeuge und für Hybrid- bzw. Elektrofahrzeuge angestellt wurden auch auf Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb übertragen. Zusätzlich sind folgende Punkte von Bedeutung:
- Die physikalischen Eigenschaften von Wasserstoff (kaum sichtbare Flamme) und die fehlende Odorierung machen die Erkennung eines Wasserstoffaustritts schwieriger. Ist eine Gaswarnanlage vorhanden, müssen Einsatzkräfte wissen, woran man eine Gaswarnung erkennen kann.
- Bei Kryogentanks führt (neben einer Erhitzung durch Brand) auch eine Beschädigung des Isolation zu einem Druckanstieg im Tank. Die Überdrucksicherung sprechen an und Wasserstoff wird abgeblasen.
- Bei einigen Fahrzeugen wird das Wasserstoffgas über Abblasleitungen durch die Fahrzeugsäulen auf das Fahrzeugdach (höchste Stelle am Fahrzeug) geführt. Hierdurch soll eine Ansammlung von Wasserstoff im Fahrzeug verhindert werden.

Merke:

Die Abblasleitungen sollten nicht beschädigt werden um die Funktion der Überdrucksicherung zu gewährleisten.

- Aufgrund der geringen notwendigen Zündenergie ist es möglich, dass sich Wasserstoff z.B. nach der Vermischung mit dem Luftsauerstoff z.B. im Bereich der Abblasleitung entzündet.

Merke:

Der Bereich der Abblasleitung sollte während der Rettungsmaßnahmen freigehalten werden.

- Brennendes Wasserstoffgas ist ggf. schwer zu erkennen, weshalb der Einsatz einer Wärmebildkamera sinnvoll ist.

8. Hinweise für den Einsatz

8.1. Einleitung

- Eine Schwierigkeit bei der Definition von Einsatzhinweisen besteht darin, diese so zu gestalten, dass sie für alle Antriebsarten Gültigkeit haben. Dies ist zwar möglich, führt aber zu dem Ergebnis, dass die Einsatzhinweise sehr umfangreich werden.
- Aus diesem Grund sind die Einsatzhinweise in diesem Kapitel mit Symbolen markiert um deutlich zu machen, welche Hinweise für welche Antriebsart gelten.



Hinweise zu Elektro-, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen



Hinweise zu Elektro-, Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeugen



Hinweise zu Rückhaltesystemen (Airbags, Gurtstraffer, Überrollbügel)



Hinweise zur Nutzung von Fahrzeuginformationen

- Ziel der Einsatzkräfte sollte es deshalb sein frühzeitig Informationen über die Art des Antriebs und die verwendeten Betriebsmittel einzuholen. Dieses Wissen reduziert die notwendigen Maßnahmen erheblich.
- Die Herausforderungen im Hinblick auf alternative Fahrzeugantriebe lassen sich nur durch einen ganzheitliche Herangehensweise lösen. Neben der richtigen Geräteausstattung (z.B. Messgeräte) ist es insbesondere wichtig, dass Einsatzkräfte über das notwendige Wissen zum Umgang mit alternativen Antrieben verfügen. Fahrzeugspezifische Detailinformationen liefert das Crash Recovery System.



Abbildung 20: Ganzheitlicher Lösungsansatz zum Umgang mit modernen Fahrzeugen.

8.2. Vorsichtige Annäherung

- Die erste Annäherung an ein verunfalltes oder brennendes Fahrzeug sollte immer mit entsprechender Vorsicht erfolgen. Dabei sollten folgende Punkte beachtet werden:



Merke:

Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge können betriebsbereit sein, obwohl kein Motorgeräusch zu hören ist.



Merke:

Wasserstoff brennt in der Luft rauchfrei mit einer bei Tageslicht kaum sichtbaren Flamme. Verbrennungsgefahr im Abblasbereich!

- Bei erster Erkundung auf Ex-Schutz achten.
- Annäherung mit dem Wind.
- Bereich der Abblasleitung freihalten.



Merke:

Der Abblasbereich ist in den Fahrzeuginformationen von Wasserstofffahrzeugen als roter Pfeil dargestellt.

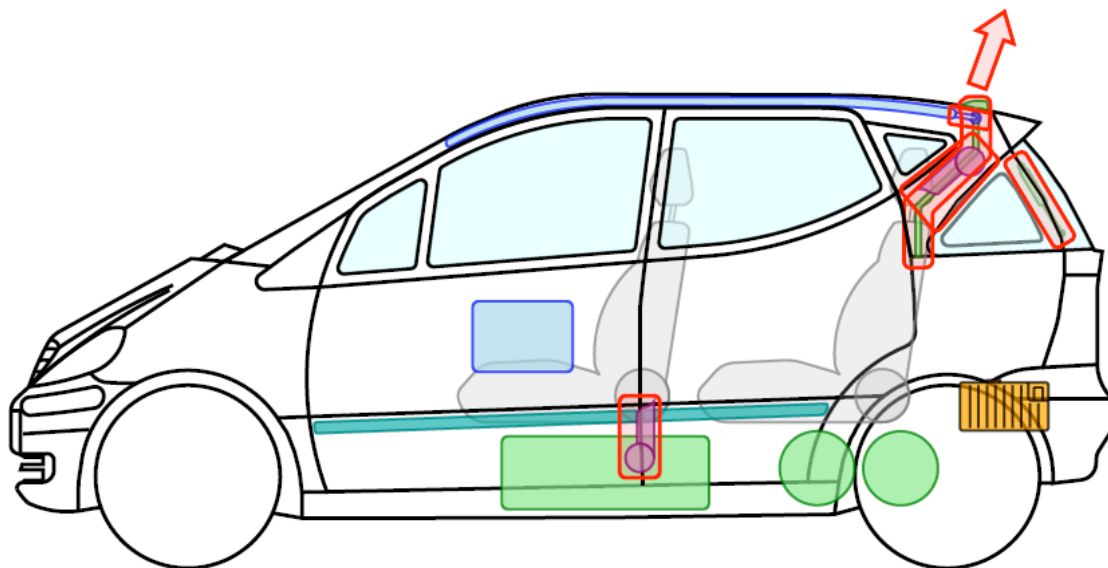


Abbildung 21: Mercedes-Benz A-Klasse F-CELL. Die Abblasrichtung für Wasserstoff ist als roter Pfeil dargestellt.

- Auf Indikatoren für ein Ansprechen der Thermosicherungen bzw. des Überdruckventils achten. Das Ansprechen ist an einem lauten Zischen/Rauschen bzw. an einem Knattergeräusch oder auch Nebelbildung zu erkennen.



Merke:

Eine eventuell vorhandene (schwer erkennbare) Wasserstoffflamme im Bereich der Abblasleitung kann z.B. mit Hilfe einer Wärmebildkamera sichtbar gemacht werden.

8.3. Antriebsart identifizieren

- Um die notwendigen Schritte im Umgang mit dem Antrieb zu beschränken ist es wichtig, frühzeitig Informationen über die Art des Fahrzeugantriebs und die verwendeten Betriebsmittel einzuholen.
- Es gibt kein sicheres äußeres Erkennungsmerkmal für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben!



Merke:

Die einfachste und sicherste Möglichkeit um Informationen zur Art des Antriebs und zur einsatzrelevanten Fahrzeugausstattung zu erhalten ist die Abfrage des Fahrzeugkennzeichens mit Hilfe des Crash Recovery Systems.

Fahrzeuge bei denen der alternative Antrieb nachgerüstet wurde, können im Crash Recovery System nicht erfasst werden. Trotzdem wird bei der Kennzeichenabfrage die Art des Antriebs angezeigt!

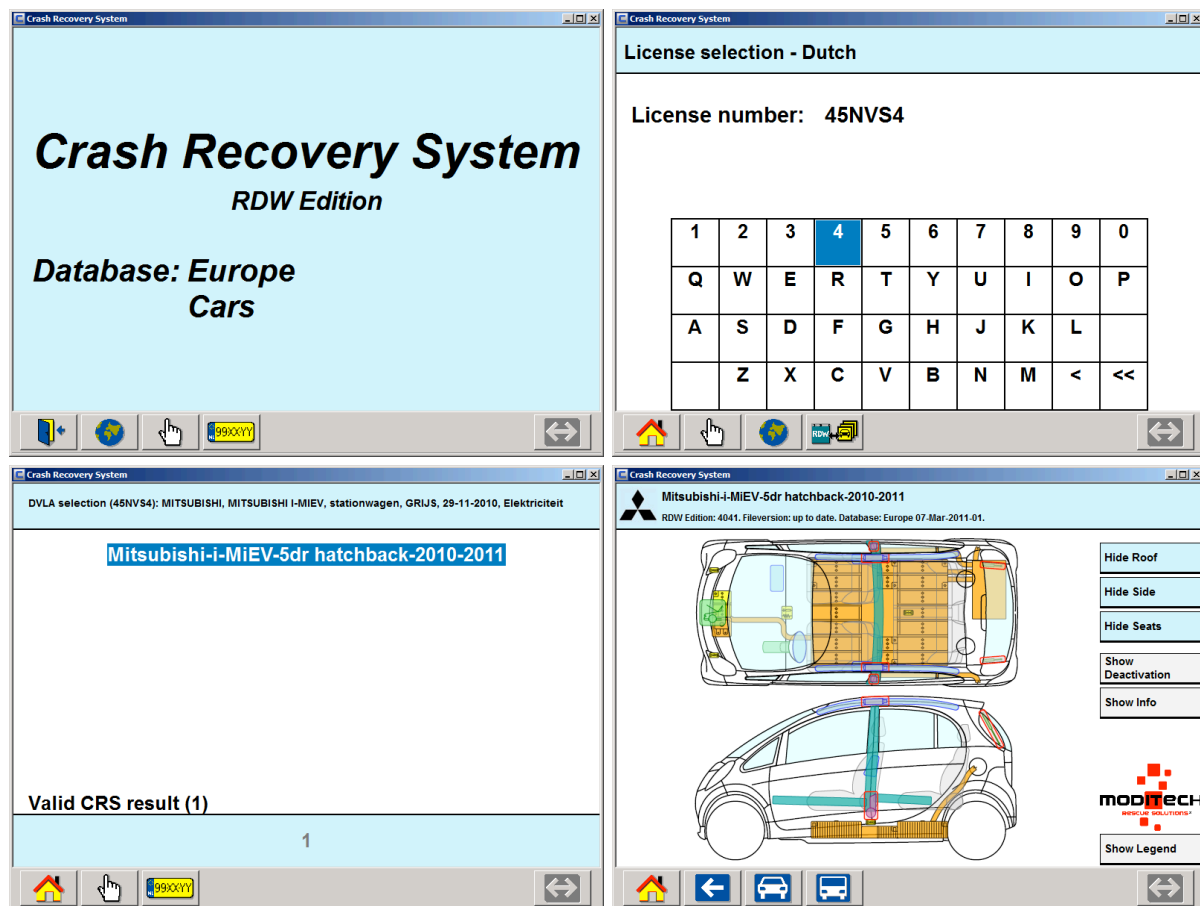


Abbildung 22: Kennzeichenabfrage im Crash Recovery System. Die Kopfzeile im Bild unten links zeigt das Abfrageergebnis. Es handelt sich um ein Elektrofahrzeug. Das CRS hat das entsprechende Fahrzeug (hier ein Serienfahrzeug) aus der Datenbank ausgewählt.



Merke:

Der Informationsschirm des CRS gibt bei Hybrid-, Elektro- und Wasserstofffahrzeugen einen ersten Überblick über die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen.

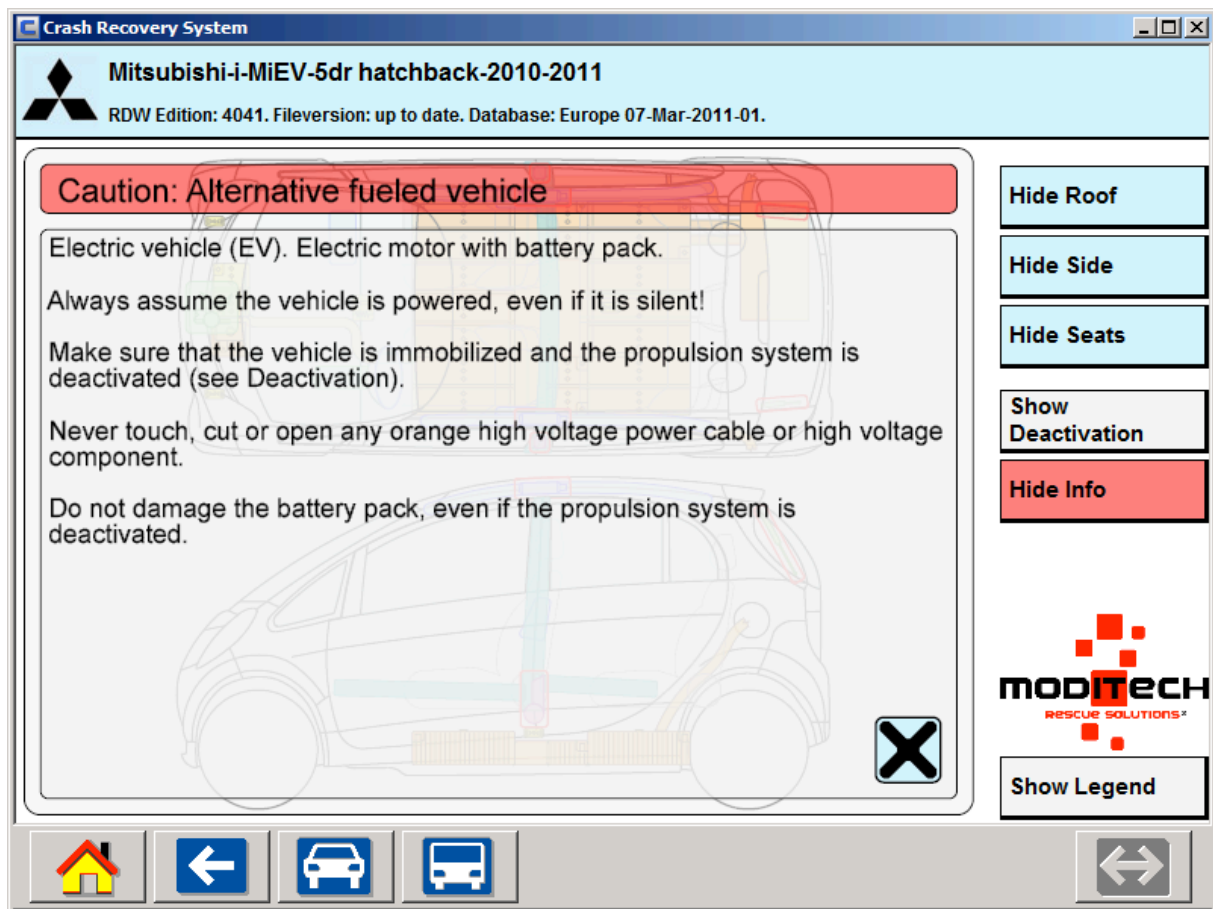


Abbildung 23: Informationsbildschirm des Crash Recovery System mit wichtigen Hintergrundinformationen zu Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeugen.

- Anhaltspunkte über die Art des Antriebs kann neben der **Befragung des Fahrers** auch die Kontrolle des Fahrzeugs ergeben, z.B. wenn das Fahrzeugkennzeichen nicht abgelesen werden kann:
- **Austretende Betriebsstoffe:**
 - Geruch von Erd- bzw. Flüssiggas.
 - Nebelbildung am bzw. unterhalb des Fahrzeugs.
 - Knattergeräusche
 - Abblasgeräusche (Zischen/Rauschen)
 - austretende Flüssigkeiten
- **Unterboden erkunden**
 - Farbige Leitungen (orangefarbene Kabel)
 - Warntafeln
 - Gastanks
 - Auspuff

Wenn möglich Kofferraum und Motorraum auf weitere Hinweise kontrollieren.



Merke:

Flüssiggastank lassen sich häufig durch die vorhandenen Schweißnähte von Erdgastanks unterscheiden.



Abbildung 24: Blick unter das Fahrzeug, a. Hochvoltkabel, b. Gastank

- Tankdeckel öffnen

Merke:

Der „Tankdeckel“ kann sich an verschiedenen Orten am Fahrzeug befinden (u.a. auch an der Front bzw. im Bereich des Kotflügels). Es können auch mehrere Tankdeckel vorhanden sein.

- Form des Befüllanschlusses
- Anzahl der Befüllanschlüsse
- Aufschrift auf der Innenseite des Tankdeckels



Abbildung 25: Unterschiedliche Tankdeckel, a. bivalentes Benzin-/Erdgasfahrzeug, b. Elektrofahrzeug, Ladestecker im Kotflügel, c. Elektrofahrzeug mit zwei Ladesteckern an der Fahrzeugfront.

- Oberfläche absuchen
 - Weitere Befüllanschlüsse
 - Ungewöhnliche Öffnungen
 - Typenschilder (Hybrid, IMA, CNG, NGT, BiFuel)
 - Werbeaufkleber



Abbildung 26: Beispiele für zusätzliche Tankdeckel und andere ungewöhnliche Öffnungen.

8.4. Gasaustritt ausschließen/unterbinden



Merke:

Gasfahrzeug ist nicht gleich Gasfahrzeug! Die Eigenschaften der verwendeten Gase sind sehr unterschiedlich.

- Handelt es sich beim betroffenen Fahrzeug um ein Gasfahrzeug sollte überprüft werden, ob Gas austritt und um welches Gas es sich handelt. Indikatoren können sein:
 - Abblasgeräusch
 - Gasgeruch
 - Nebelbildung
 - Stichflammen
- Es ist möglich, dass Gasfahrzeuge über eine Gaswarnanlage verfügen. Ggf. verfügt diese Anlage über Indikatoren die von außen erkennbar sind und auf einen Gasalarm hinweisen.



Abbildung 27: Gaswarnanlage des BMW Hydrogen7. Die LEDs der Gaswarnanlage sind in die Türpins integriert und blinken, wenn ein Gasalarm anliegt (Foto: BMW).



Merke:

Hinweise zu den Indikatoren der Gaswarnanlage können den Fahrzeuginformationen entnommen werden.

- Wird an der Unfallstelle ein Gasaustritt festgestellt, sollten die folgenden Maßnahmen ergriffen werden:
 - Gefahrenbereich räumen und Absperren
 - Zündquellen entfernen
 - Brandschutz sicherstellen
 - Fahrzeug ggf. durch Schieben aus geschlossenen Räumen verbringen
 - Gaskonzentration mit Messgeräten bewerten, Ansammlung in Hohlräumen beachten

Je nach Messergebnis:

- Motor abstellen, Fahrzeug nicht starten
- Zündung ausschalten
- Fahrzeuginnenraum belüften, Türen, Fenster, Motorhaube, Kofferraum öffnen, ggf. auch Fenster aus der Entfernung zerstören.
- Ggf. für Querlüftung sorgen, Gas mit Lüfter „verblasen“
- Ggf. manuelle Absperrventile betätigen.



Merke:

Die bei den Feuerwehren normalerweise zum Einsatz kommenden Zündgrenzmessgeräte sind beispielsweise auf Methan oder Nonan kalibriert.

Dies bedeutet, dass die Messgeräte bei einer Wasserstoffmessung bereits beim Erreichen von etwa 20% der unteren Zündgrenze 100% der unteren Zünd- bzw. Explosionsgrenze anzeigen.



Merke:

Das Öffnen von Türen/Kofferraumdeckeln/Motorhauben kann elektrische Schaltfunken verursachen!



Merke:

Hinweise zur Bedienung des manuellen Absperrventils können den Fahrzeuginformationen entnommen werden.

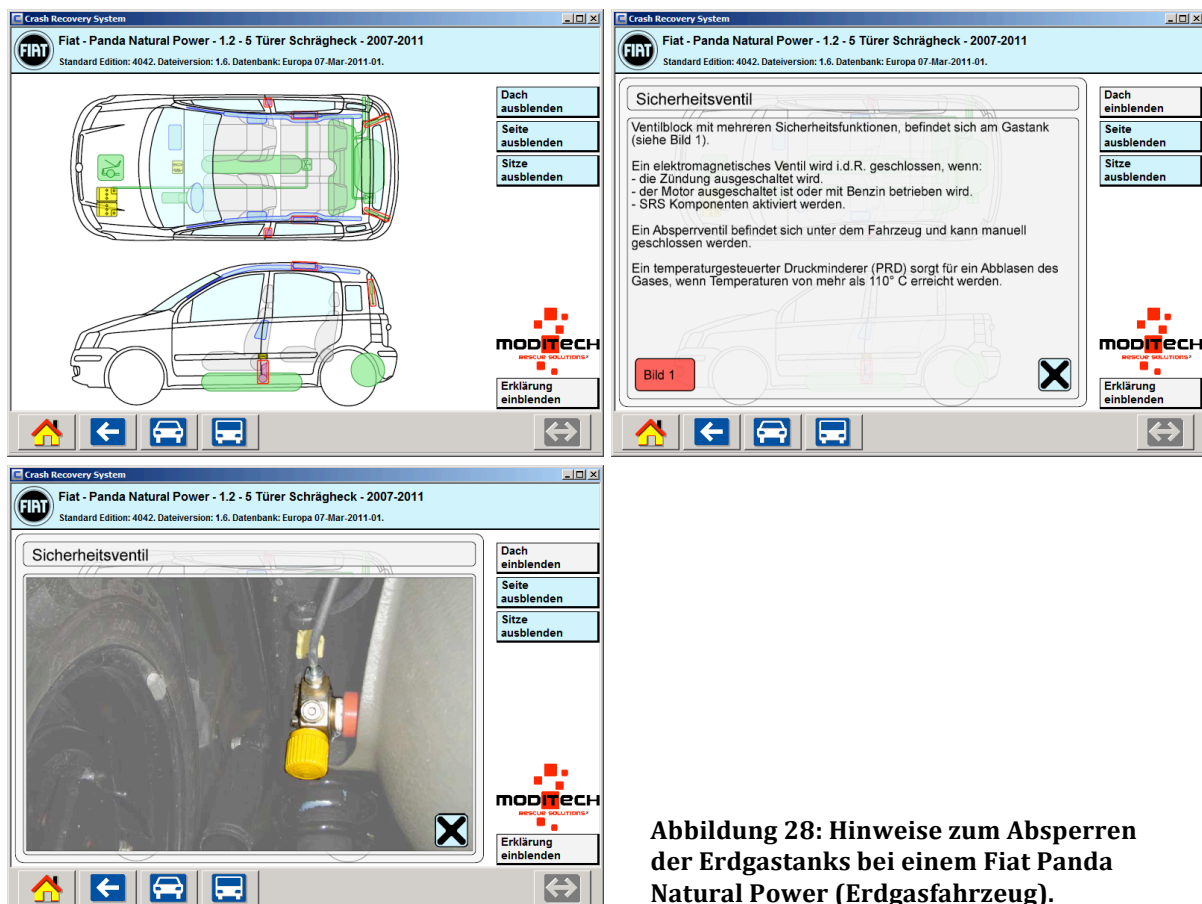


Abbildung 28: Hinweise zum Absperrn der Erdgastanks bei einem Fiat Panda Natural Power (Erdgasfahrzeug).

8.5. Fahrzeug gegen wegrollen sichern



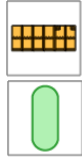
Merke:

Hybrid-, Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge können betriebsbereit sein, obwohl kein Motorgeräusch zu hören ist.

- **Alle** Fahrzeuge sollten deshalb frühzeitig gegen Wegrollen gesichert werden:
 - Räder mit Unterlegkeilen sichern
 - Automatik in Stellung „P“ bringen
 - Feststellbremse/elektronische Parkbremse betätigen

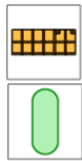
8.6. Antrieb deaktivieren

- Um ein sicheres Arbeiten an einem verunfallten Fahrzeug zu ermöglichen sollte stets sichergestellt werden, dass der Antrieb deaktiviert ist.



Merke:

Die durch das Airbagsteuergerät ausgelösten Sicherheitsfunktionen (z.B. das Abschalten der Kraftstoffpumpe, das Schließen der elektromagnetischen Absperrventile, das Öffnen der Schutzrelais) können nur greifen, wenn der Unfall auch durch das Airbagsteuergerät erkannt wurde.



Merke:

Das Heraushängen von ausgelösten Airbags ist ein Indiz dafür, dass das Airbagsteuergerät den Unfall erkannt hat und Sicherheitsfunktionen ausgelöst wurden. Es sollte immer eine manuelle Deaktivierung vorgenommen werden!



Merke:

Das Ausschalten der Zündung ist die einfachste Maßnahme, die zum Öffnen der Schutzrelais an der Hochvoltbatterie und damit zur Deaktivierung des Antriebs führt.



Merke:

Auch im Ladebetrieb werden die Schutzrelais an der Hochvoltbatterie geschlossen (Elektrofahrzeuge, Plug-In Hybride). Um die Relais zu öffnen Ladestrom unterbrechen oder Ladestecker ziehen!



Merke:

Das Ausschalten der Zündung reduziert durch die Unterbrechung der Spannungsversorgung des Airbagsteuergerätes auch die Gefahr einer nachträglichen Auslösung von Rückhaltesystemen. Solange die 12 Volt Batterie des Fahrzeugs noch angeklemmt ist, kann es aber zu einer Airbagauslösung durch Kurzschlüsse kommen.

- Die Betriebsbereitschaft bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen kann i.d.R. am sogenannten „Ready-Indikator“ erkannt werden. Leuchtet der „Ready-Indikator“ ist das Fahrzeug fahrbereit. Der „Ready-Indikator“ befindet sich im Regelfall im Bereich der Geschwindigkeitsanzeige.



Abbildung 29: Beispiele für "Ready-Indikatoren" bei verschiedenen Hybrid- und Elektrofahrzeugen

- Zum Ausschalten der Zündung sollte der Zündschlüssel in Stellung „Aus“ gedreht werden.
- Ggf. ist kein konventioneller Zündschlüssel vorhanden. Das Fahrzeug wird in diesem Fall mit Hilfe eines Start/Stop-Knopfes gestartet und abgeschaltet. Der Start/Stop Knopf befindet sich auf dem Armaturenbrett oder im Bereich des Schalthebels. Zum Starten/Ausschalten des Fahrzeugs ist es i.d.R. ausreichend, wenn sich ein „Smart Key“ im Innenraum des Fahrzeugs befindet.

- Um einen aktiven Fahrzeugantrieb („Ready-Indikator“ leuchtet) zu deaktivieren muss der Start-/Stop-Knopf einmal betätigt werden.

**Merke:**

Wenn der Antrieb bereits deaktiviert wurde (z.B. durch den Fahrer, Ersthelfer oder aufgrund der Airbagauslösung) besteht die Gefahr, dass er durch Drücken des Start/Stop-Knopfes wieder aktiviert wird.



Abbildung 30: Start/Stop-Knopf, hier bei einem Toyota Prius

- Um ein Wiedereinschalten zu verhindern, sollte der „Smart Key“ oder der konventionelle Schlüssel mindestens 5 m aus dem Fahrzeuginnenraum entfernt werden.
- Anschließend sollte die 12 Volt Batterie abgeklemmt werden. Dies reduziert die Gefahr von Kurzschlüssen und verhindert ein Wiedereinschalten.

**Merke:**

Die Einbaulage der 12 Volt Batterie kann den Fahrzeuginformationen entnommen werden.

**Merke:**

Die vollständige Deaktivierung des Antriebs (inkl. Abklemmen der 12 Volt Batterie) reduziert auch die Gefahr der nachträglichen Auslösung von Rückhaltesystemen durch Kurzschlüsse.

- Ist der **Zündschlüssel bzw. der Start/Stop-Knopf nicht zugänglich** und der Antrieb noch eingeschaltet („Ready-Indikator“ leuchtet) müssen bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen zusätzlich zum Abklemmen der Batterie weitere (fahrzeugspezifische) Deaktivierungsschritte ausgeführt werden.

**Merke:**

Bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen führt das alleinige Abklemmen der 12 Volt Batterie bei eingeschaltetem Antrieb u. U. nicht zur Deaktivierung des Antriebs.

**Merke:**

Bei Erdgas- und Flüssiggasfahrzeugen führt spätestens das Abklemmen der 12 Volt Batterie zum Schließen der elektromagnetischen Absperrventile, sofern diese nicht beschädigt sind.

**Merke:**

Schritt-für-Schritt Hinweise zur sicheren Deaktivierung der Fahrzeuge können dem Crash Recovery System entnommen werden.

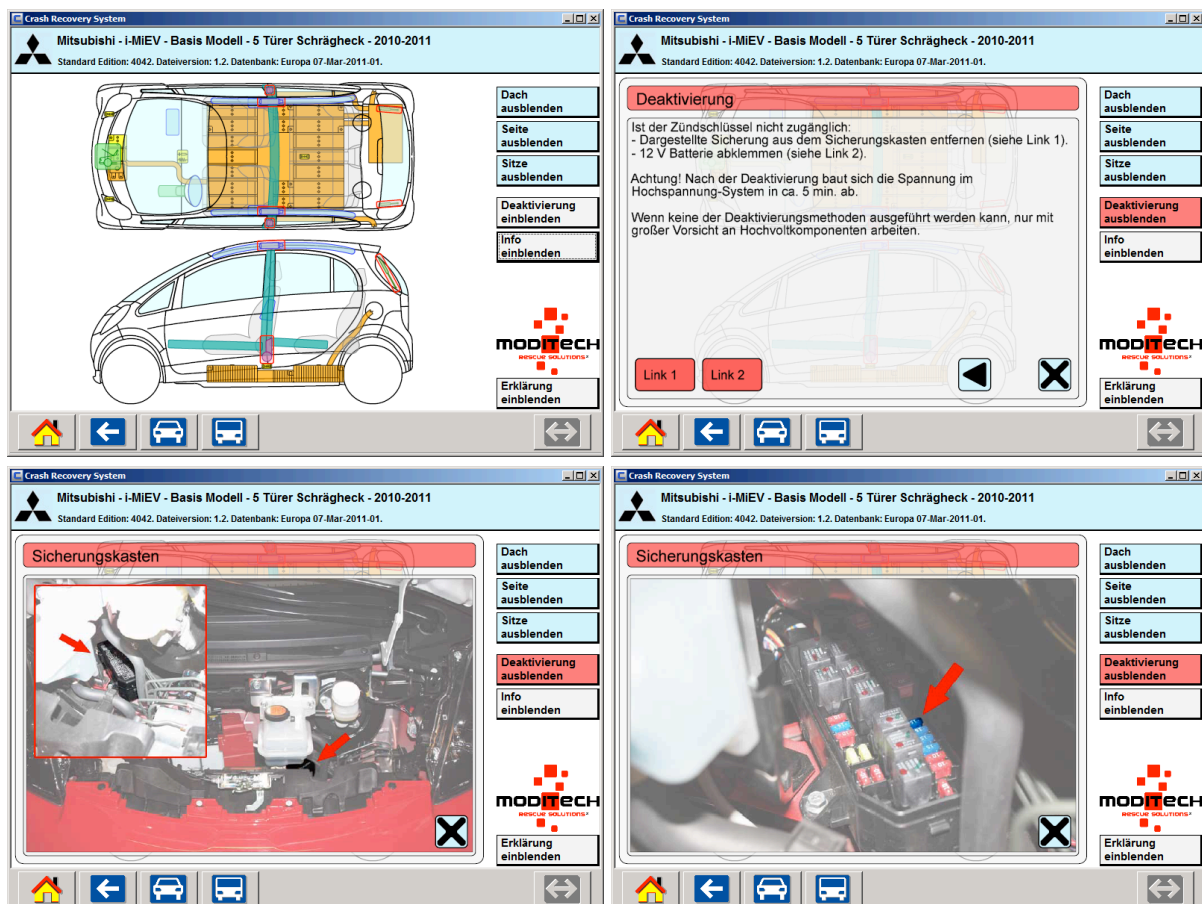


Abbildung 31: Ist der Zündschlüssel bei diesem Mitsubishi i-MiEV (Elektrofahrzeug) nicht zugänglich muss zur Deaktivierung des Antriebs eine Sicherung entfernt und dann die 12 Volt Batterie abgeklemmt werden.

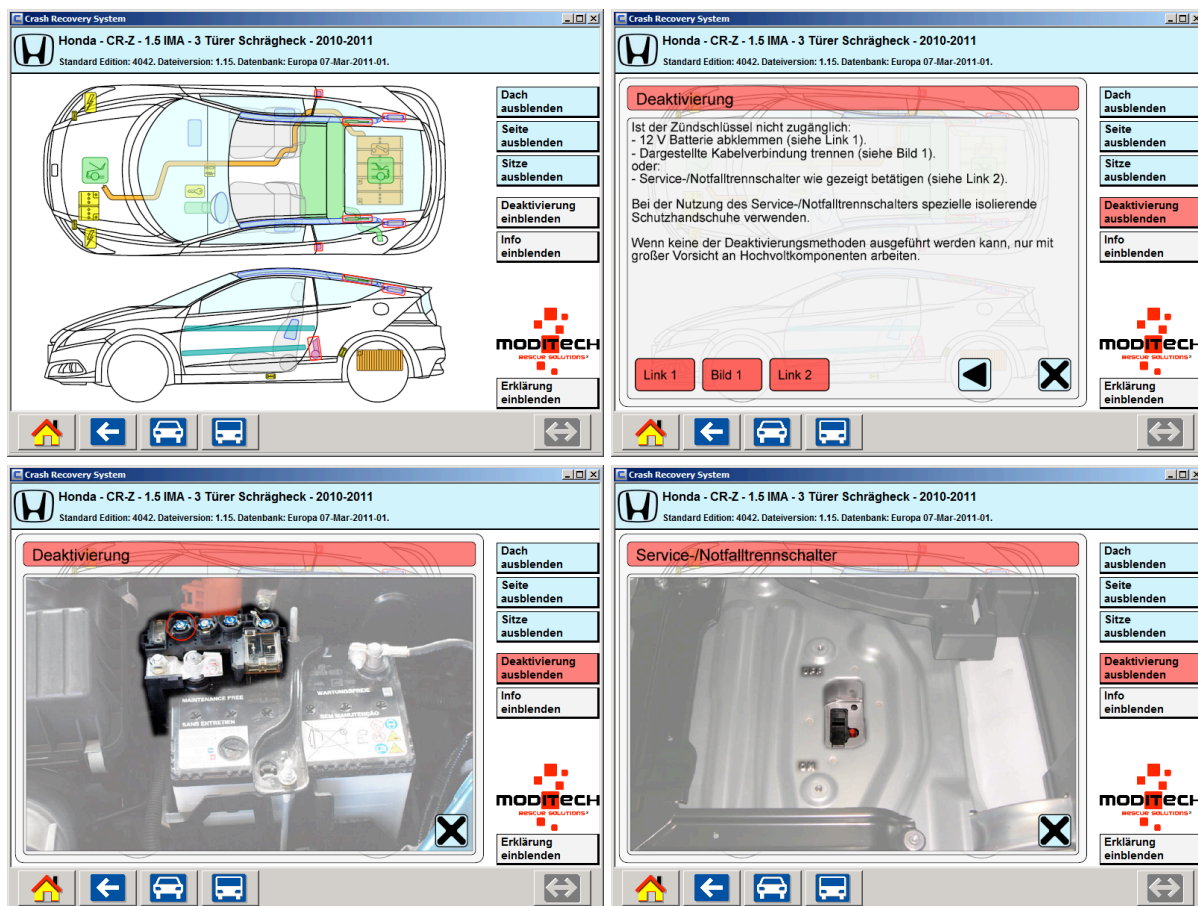


Abbildung 32: Ist der Start/Stop-Knopf dieses Honda CR-Z (milder Hybrid) nicht zugänglich muss zur Deaktivierung des Antriebs eine zusätzliche Kabelverbindung getrennt oder der Service-/Notfalltrennschalter betätigt werden.

8.7. Mit Vorsicht arbeiten

- Auch nach der Deaktivierung des Antriebs gibt es in jedem Fahrzeug Komponenten die von Einsatzkräften nicht beschädigt werden sollten.



Merke:

Es gibt an jedem Kraftfahrzeug Komponenten die nicht beschädigt werden sollten, z.B. Gasgeneratoren von Airbags, Kraftstofftanks aber auch Hochvoltbatterien, Hochvoltleitungen, Gastanks und Gasleitungen. Das Crash Recovery System informiert über die Einbauorte und die Eigenschaften dieser Komponenten.

- Folgende Antriebskomponenten sollten **nicht** beschädigt werden:
 - Hochvoltbatterien
 - Hochvoltkabel
 - Kraftstofftanks
 - Gasflaschen
 - Abblasleitungen

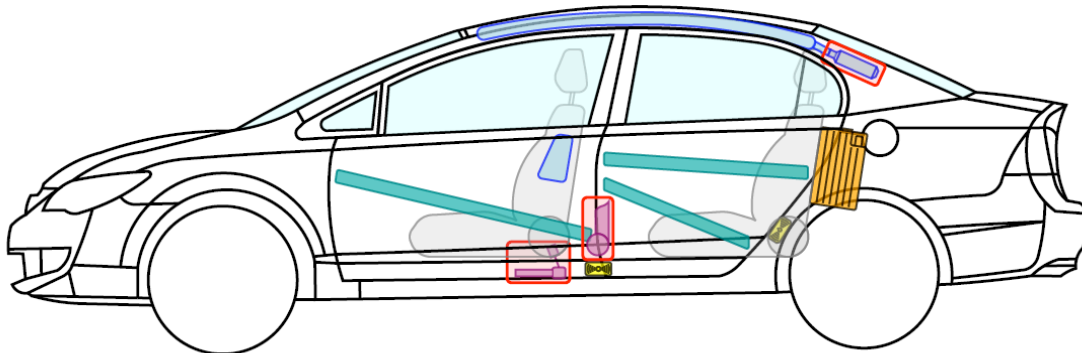


Abbildung 33: Honda Civic Hybrid (IMA), die Hochvoltbatterie hinter der Rücksitzbank sollte ebenso wenig beschädigt werden, wie der Gasgenerator des Kopfairbags oder die Gurtstraffer.

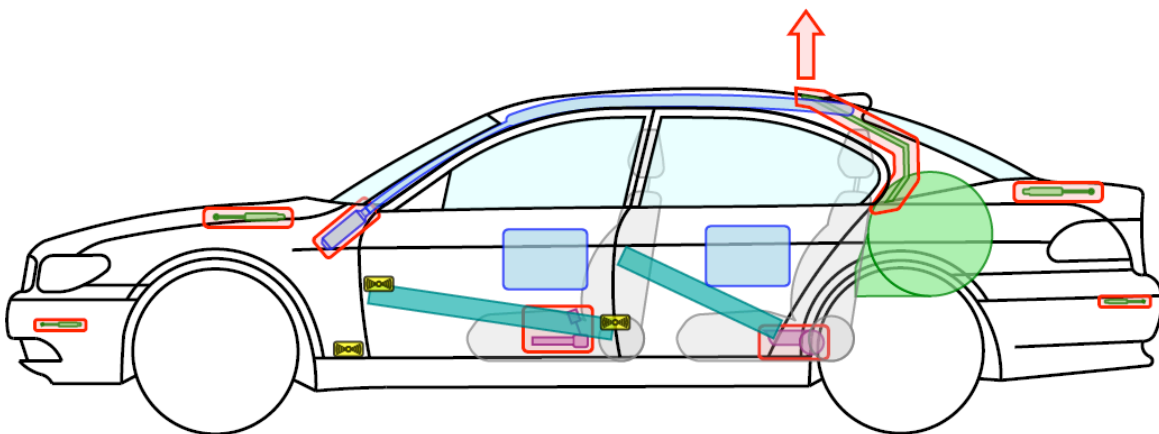


Abbildung 34: BMW Hydrogen7, der Gastank sowie die Abblasleitung in der C-Säule sollte nicht beschädigt werden. Gleiches gilt auch hier für Gasgeneratoren und Gurtstraffer.



Merke:

Hochvoltkabel (> 60 V) können an der orangefarbenen Isolierung erkannt werden.

- Sollte die Hochvoltbatterie beschädigt werden, kann es zu einem Austritt von Elektrolyt kommen. Der Elektrolyt ist eine alkalische Flüssigkeit oder ein Gel, welches zu Verätzungen führen kann. Bereich der Hochvoltbatterie meiden und Schutzkleidung tragen!

8.8. Fahrzeugbrände

- Die genannten Einsatzhinweise (8.1. bis 8.7.) und Überlegungen gelten auch bei Fahrzeugbränden.
- Sobald bei einem Fahrzeugbrand Flammen aus dem Innenraum des Fahrzeug schlagen ist davon auszugehen, dass das Fahrzeug irreparabel beschädigt ist. In der Regel lohnt es nicht, für einen **Totalschaden** ein Risiko einzugehen.
- Fahrzeugbrände bergen eine Reihe von Gefahren für Einsatzkräfte, u.a:
 - Auslösung von Airbags, Umherfliegen von Teilen
 - Platzen von Fahrzeugreifen
 - Zerknall von Gasdruckdämpfern
 - Reaktion von Löschwasser mit Leichtmetallen (Magnesium)
 - Wegrollen des Fahrzeugs
- Brandbekämpfungsmaßnahmen sollten deshalb **grundsätzlich** mit ausreichend Sicherheitsabstand begonnen werden (Reichweite des Vollstrahls ausnutzen). **Atemschutz** ist obligatorisch!
- Brandbekämpfungsmaßnahmen sollten schräg von vorne eingeleitet werden!
- Sicherheitsabstände sind auch bei Bränden von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben wichtig.



Abbildung 35: Brand eines Hybridfahrzeugs vom Typ Toyota Prius. Das Fahrzeug ist irreparabel zerstört, es lohnt nicht ein Risiko einzugehen!

**Merke:**

Bei allen gasbetriebenen Fahrzeugen besteht die Gefahr von Stichflammen durch das plötzliche Ansprechen der Thermosicherung, der Berstscheibe oder des Überdruckventils.

**Merke:**

Sind die Gastanks vom Brandgeschehen betroffen Gasbrand nicht löschen. Gasflaschen kühlen und aus der Deckung arbeiten. Brennendes Gas explodiert nicht! Zur Vermeidung einer Brandausbreitung Umgebung und Fahrzeug kühlen.

**Merke:**

Bei der Brandbekämpfung notwendige Strahlrohrabstände für Spannungen bis 1000 V einhalten.

**Merke:**

Gefahr einer heftigen Reaktion beim Brand von Hochvoltbatterien. Zur Brandbekämpfung sind große Mengen von Löschwasser erforderlich.

**Merke:**

Beschädigte Hochvoltbatterien auch bei einem Feuer in der Batterie niemals öffnen oder beschädigen – Stromschlaggefahr. Eine effektive Bekämpfung eines Brandes in der Batterie ist nicht möglich, Batterie kontrolliert ausbrennen lassen!

**Merke:**

Nach Abschluss der Löschmaßnahmen sollte das Fahrzeug (sofern möglich) wie in den Fahrzeuginformationen dargestellt deaktiviert werden.

8.9. Fahrzeug im Wasser

- Die genannten Einsatzhinweise (8.1. bis 8.7.) und Überlegungen gelten auch bei Fahrzeugen, die sich ganz oder teilweise in Wasser befinden.
- Aufgrund des Aufbaus des Hochvoltsystems besteht bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen keine Gefahr, bei Berührung der Fahrzeugkarosserie einen Stromschlag zu erleiden.

**Merke:**

Nach der Bergung des Fahrzeugs, Wasser aus dem Innenraum ablaufen lassen, bevor weitere Maßnahmen ergriffen werden.

**Merke:**

Nach der Bergung aus dem Wasser sollte das Fahrzeug (sofern möglich) wie in den Fahrzeuginformationen dargestellt deaktiviert werden.

9. Ideen für die Ausbildung

- Eine besondere Herausforderung besteht darin die Themen „Neue Fahrzeugtechnologie“ und „Alternative Antriebe“ auch in die praktische Ausbildung zu integrieren. Nur die Implementierung in die praktische Ausbildung stellt sicher, dass theoretisches Wissen auch sicher in den Einsatzalltag übertragen werden kann. Sollen bei der Ausbildung also nicht nur die technischen Besonderheiten von Neufahrzeugen im Vordergrund stehen, sondern auch die technische Rettung sowie das Teamwork trainiert werden, ist es möglich die alten Schrottfahrzeuge entsprechend vorzubereiten und sozusagen auf neu zu trimmen.
- Dies ist beispielsweise möglich, indem man ein aktuelles Fahrzeug im CRS auswählt und das alte Schrottfahrzeug der Vorlage entsprechend mit Airbagkennzeichnungen, Fahrzeugbatterien und Antriebskomponenten präpariert.

9.1. Airbagkennzeichnungen anbringen, Airbags „einbauen“



Abbildung 36: Nachträgliche angebrachte Kennzeichnung eines Kopfairbags



Abbildung 37: Nachträgliche angebrachte Airbags für Fahrer- und Beifahrer

- Als Airbagkennzeichnungen können einfache Labels oder Sticker dienen, die mit dem Wort Airbag, SRS Airbag oder auch IC (Inflatable Curtain) beschriftet wurden. Außerdem ist es möglich, dass Fahrzeug auch mit ausgelösten Airbags auszustatten, z.B. kann man einen abgeschnittenen Airbagsack von einem Beifahrerairbag mit geringem Aufwand im Bereich des Handschuhfaches befestigen.

9.2. Batterie "einbauen"

- Als Fahrzeugbatterie kann beispielsweise eine Batterie aus dem Crash Recovery System Magnetset verwendet werden, die an der passenden Stelle im Fahrzeug angebracht wird. Die echte Fahrzeugbatterie sollte vorab entfernt werden.



Abbildung 38: Batterie-Dummy im Kofferraum des Fahrzeugs

9.3. Alternativen Antrieb "montieren"

- Als weitere Möglichkeit kann auch das Vorhandensein eines alternativen Antriebs im Fahrzeug simuliert werden, um das Bewusstsein der Einsatzkräfte für diese neuen Technologien zu schärfen und um deren Identifikation zu trainieren. Eine Möglichkeit ist in diesem Zusammenhang das Anbringen von orangefarbenen "Hochvoltleitungen" am Unterboden des Fahrzeugs. Außerdem können Hybrid-Label außen am Fahrzeug angebracht werden.



Abbildung 39: Nachträglich angebrachtes Hochvoltkabel am Fahrzeugboden

9.4. Fahrzeugidentifikation ermöglichen

- Jetzt muss man es den Einsatzkräften nur noch ermöglichen, durch Hinweise auf dem Fahrzeug oder durch Informationen des Übungsleiters das richtige Fahrzeug im Crash Recovery System zu selektieren. Ggf. kann man durch das Anbringen von deutlich sichtbaren Herstellerlogos und Fahrzeugbezeichnungen eine Identifikation ermöglichen.
- In Ländern, in denen eine Selektion des Fahrzeugs mit Hilfe des Fahrzeugkennzeichens oder der FIN/VIN möglich ist, können auch hierfür entsprechende Dummies am Fahrzeug angebracht werden.
- Die Verwendung eines Kennzeichen-Magneten vorne und hinten am Fahrzeug erlaubt eine schnelle Identifikation. Der Kennzeichen-Magnet kann mit Hilfe eines Boardmarkers mit der gewünschten Nummernschildkombination versehen werden.



Abbildung 40: Kennzeichen-Magnet

- Ein Sticker mit der FIN/VIN im unteren Bereich der Windschutzscheibe sowie im Türrahmen ermöglicht ebenso die Identifikation.



Abbildung 41: FIN-Label

Anhang A: Crash Recovery System Symbole

Gefahrenzone



Gefahrenzone

Die **rotumrandeten** Komponenten stellen potentielle Risiken für Patienten und Retter während des Einsatzes dar.



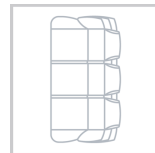
Gefahrenzonen – Fahrer- und Beifahrerairbag

Rotumrandete Fahrer- und Beifahrerairbags zeigen zweistufige Airbags, die nach Auslösung der ersten Stufe noch immer aktiv sein können.

Seats



Frontsitz Draufsicht



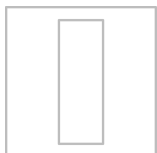
Rücksitz Draufsicht



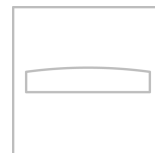
Frontsitz/Rücksitz
Seitenansicht



LKW Sitz Seitenansicht

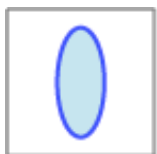


LKW Liege Draufsicht

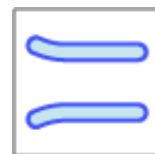


LKW Liege Seitenansicht

Airbags



Fahrerairbag



Kopfairbag



Im Armaturenbrett:
Beifahrerairbag
Im Sitz:
Anti-submarining Airbag



Druckgasgenerator
Kopfairbag



Seitenairbag (sitzseitig)



Knieairbag Fahrer



Seitenairbag (türseitig)



Knieairbag Beifahrer

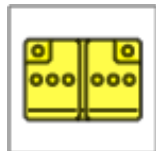
Elektrische Komponenten



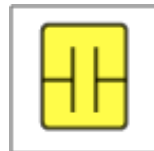
Sensor Front/Seite



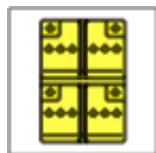
Sensor Front/Seite
(mechanisch)



Batterie (12 V)



Zweite Stromversorgung
Ultra-Kondensator



LKW Batterie (24 V)



Start/Stop Knopf
Motor abschalten



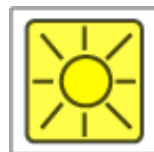
SRS Steuergerät
Überrollbügel Steuergerät



Batterie Hauptschalter



Sitzbelegungssensor (mit
Wirkung auf Airbagauslösung)



Anzeige Gaswarnanlage



Xenon-Scheinwerfer

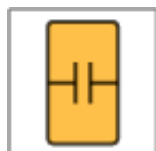
Elektrische Komponenten > 30 V



Batteriepaket



Hochvoltkabel



Ultra-Kondensator



Service/Notfalltrennschalter
(zur Deaktivierung des HV
Systems)



Sicherungskasten (zur
Deaktivierung des HV Systems)

Gurtstraffer



Gurtstraffer am Aufrollautomat



Gurtschlossstraffer
Beckengurtstraffer

Verschiedenes



Zylinder zur Unterstützung,
z.B. von Motorhaube oder
Heckklappe



Fahrerhausfederung (nur LKW)



Automatischer Überrollbügel



Fahrgestellfederung (nur LKW)



Abblasleitung für Wasserstoff
(Pfeil zeigt Abblasrichtung)



Druckluftsystem



Brennstoffzellenstack



Lenksäulenverstellung



Öffnen der Motorhaube
(Scharniere hinten)



Kraftstofftank



Öffnen der Motorhaube
(Scharniere vorne)



LKW Kraftstofftank



Öffnen der Heckklappe



Gastank
(CNG, LPG, Wasserstoff)



Kühlergrill öffnen



Sicherheitsventil



Sitzeinstellung (nur LKW)



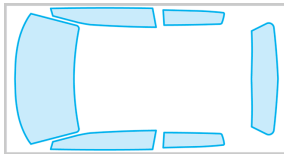
Fußgänger-Schutzsystem

Verstärkungen



Strukturverstärkungen in der Karosserie

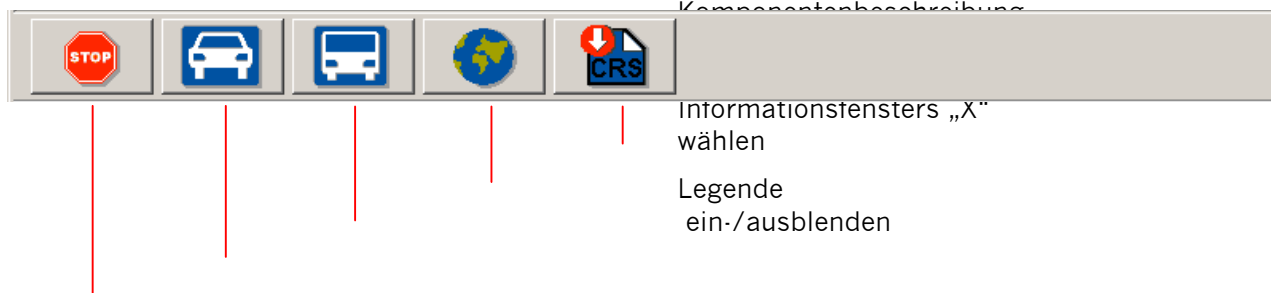
Verglasung



Verglasung, Glas oder Kunststoff, Einscheibensicherheitsglas (ESG) oder Verbundsicherheitsglas (VSG)

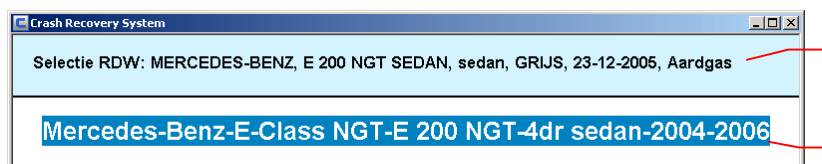
Anhang B: Crash Recovery System Kurzanleitung

Interaktives CRS-Datenblatt.
Das Auswahlfeld zeigt die
Komponentenbeschreibung

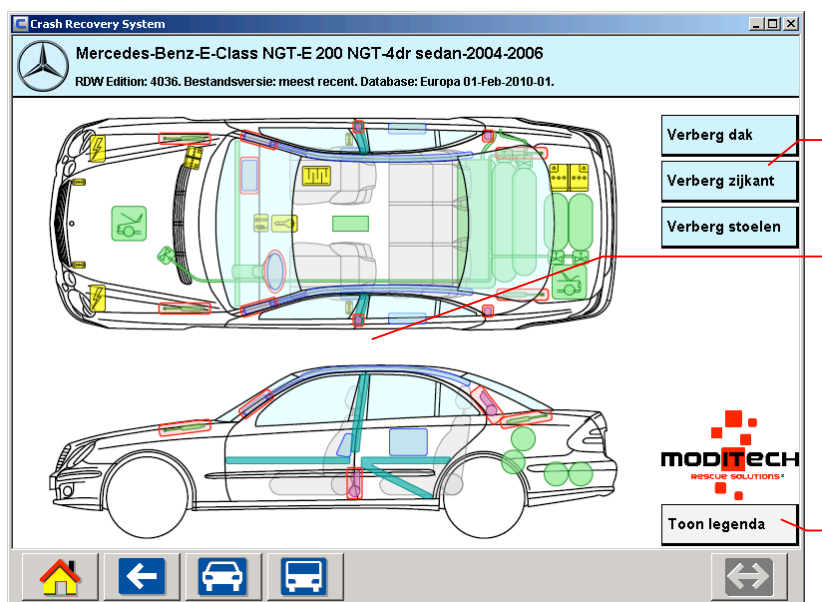


Fahrzeugauswahl

1. Wählen Sie . Dies öffnet die Selektion eines neuen PKW.
2. Wählen Sie um eine Kennzeichenabfrage durchzuführen.
3. Kennzeichen eintragen. Mit Hilfe von kann die Eingabe editiert werden.
4. Wählen Sie . Hierdurch wird die Fahrzeugabfrage im nationalen Fahrzeugregister gestartet. Die Fahrzeugdetails werden innerhalb weniger Sekunden angezeigt, inklusive Farbe, Zulassungsdatum und Antriebsart.



5. CRS Fahrzeugauswahl wählen um CRS-Datenblatt zu öffnen.



1. Wählen Sie . Dies öffnet die Selektion eines weiteren PKW.
2. Ist keine Kennzeichenabfrage möglich, wählen und Fahrzeug über Hersteller, Modell, Motorisierung, Karosserieform und Baujahr manuell auswählen.
3. Wählen Sie um zwischen den geöffneten Datenblättern zu wechseln.
4. schließt das CRS-Datenblattes. schließt das Dokument.

Anhang C: Einsatzszenarien für die praktische Ausbildung

Szenario 1: Heckaufprall auf ein Flüssiggasfahrzeug, Flüssiggastank beschädigt.

Lage:

An einem Stauende ist ein Transporter auf einen PKW aufgefahren. Der PKW ist im Heckbereich schwer beschädigt. Der im Kofferraum beschädigte Flüssiggastank wurde durch den Aufprall beschädigt, es tritt Flüssiggas aus. Der Fahrer konnte sich aus dem Fahrzeug retten, er sitzt am Straßenrand und klagt über Rücken- und Nackenschmerzen.

Übungsdarstellung:

- Übungs-PKW vom Schrottplatz, wenn möglich mit Schaden am Heck
- Kennzeichenmagnet mit Fahrzeugkennzeichen eines Flüssiggasfahrzeugs
- Sizzling LPG-Tank im Kofferraum, aufgedreht.
- Explo-Trainer, Explosionsgefahr im Bereich um den PKW

Lernziele:

- Erstversorgung der verletzten Person
- Fahrzeug und Fahrzeugantrieb identifizieren (CRS)
- Überprüfen ob Airbags ausgelöst wurden
- Gasaustritt feststellen und bewerten
- Maßnahmen zur Reduktion von Brand-/Explosionsgefahr
- Fahrzeug gegen Wegrollen sichern
- Fahrzeugantrieb deaktivieren (CRS)
- Gasaustritt unterbinden, mechanisches Absperrventil schließen (CRS)

Szenario 2: Hybridfahrzeug nach Verkehrsunfall auf der Seite, kein Airbag ausgelöst.

Lage:

Ein Hybridfahrzeug ist von der Straßen abgekommen und hat sich dabei überschlagen. An einem Baum endete der Überschlag, das Fahrzeug kommt auf der Seite zum liegen. Der Fahrer des Fahrzeugs befindet sich noch im Fahrzeug. Es haben keine Airbags ausgelöst.

Übungsdarstellung:

- Übungs-PKW vom Schrottplatz, auf die Seite gelegt.
- Kennzeichenmagnet mit Fahrzeugkennzeichen eines Flüssiggasfahrzeugs.
- Hybrid-Label auf dem Fahrzeug
- Hochvoltkabel am Fahrzeugboden befestigt.
- „Hochvoltbatterie“ im Fahrzeug montieren

Lernziele:

- Fahrzeug und Fahrzeugantrieb identifizieren (CRS)
- Überprüfen ob Airbags ausgelöst wurden
- Gasaustritt ausschließen.
- (Fahrzeug gegen wegrollen sichern)
- Fahrzeugantrieb deaktivieren (CRS)
- Unfallrettung vorplanen (CRS, CRS Magnetset)

Anhang D: Checkliste Show-and-tell

Erdgas- oder Flüssiggasfahrzeuge

- ☐ Fahrzeugidentifikation via Kennzeichen
- ☐ AUTO-Regel
- ☐ Identifikation der Gefahren
 - ☐ Gastank im Fahrzeug
- ☐ Identifikation der Komponenten mit Hilfe des CRS
 - ☐ Gastanks
 - ☐ Sicherheitsventile
 - ☐ 12 Volt Batterie
- ☐ Demonstration des mechanischen Absperrventils
- ☐ Unfallrettung vorplanen

Hybrid- oder Elektrofahrzeuge

- ☐ Fahrzeugidentifikation via Kennzeichen
- ☐ AUTO-Regel
- ☐ Identifikation der Gefahren
 - ☐ Motorstatus
 - ☐ Batterie
 - ☐ Aktiver Antrieb
- ☐ Identifikation der Komponenten mit Hilfe des CRS
 - ☐ Start/Stop-Knopf, Ready-Indicator
 - ☐ Hochvoltbatterie
 - ☐ Hochvoltkabel
 - ☐ Sicherungskasten
 - ☐ Service-/Notfalltrennschalter/-stelle-/kabel
 - ☐ 12 V Batterie
- ☐ 12 V-Batterie bei eingeschaltetem Antrieb abklemmen
- ☐ Hochvoltsystem messen
- ☐ Demonstration der Deaktivierungsschritte
- ☐ Unfallrettung vorplanen