

Hybrid- und Elektroantriebe



HV

Handbuch zur Schulung von Fachkundigen für
Arbeiten an HV-eigensicheren Systemen

- Hybridfahrzeuge
- Elektrofahrzeuge
- Brennstoffzellen



Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung



Fachausschuss Metall- und Oberflächenbehandlung

TAK
Akademie Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe

Handbuch zur Schulung von Fachkundigen für Arbeiten an HV-eigensicheren Systemen

Hybridfahrzeuge

Elektrofahrzeuge

Brennstoffzellenfahrzeuge

2. Auflage 2011

Herausgeber:

Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes GmbH (TAK)
Franz-Lohe-Straße 19
53129 Bonn

Im Auftrag:

Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e.V. - Zentralverband (ZDK)
Franz-Lohe-Straße 21
53129 Bonn

und

Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung
Seligmannallee 4
30173 Hannover

Impressum:

Akademie des Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes GmbH (TAK)
Franz-Lohe-Straße 19
53129 Bonn

Redaktion:

Koordination und Autor:

Werner Steber, Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe e.V. (ZDK), Bonn

Autoren:

Rudolf Abele, Gewerbliche Schule, Aalen

Albert Först, Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung, Nürnberg

Olaf Pfeiffer, Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung, Hannover

Rene Stieper, Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung, Hannover

Herstellung:

Vogel Buchverlag
Max-Planck-Straße 7/9
97082 Würzburg

2. Auflage 2011

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form
(Druck, Fotokopie, Mikrofilm, oder einem anderen
Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der TAK
reproduziert oder unter Verwendung elektronischer
Systeme verarbeitet werden.

© Copyright 2011 by Akademie des
Deutschen Kraftfahrzeuggewerbes GmbH (TAK), Bonn

ZDK-Vorwort

Der Umgang mit elektrischem Strom ist für Kfz-Mechatroniker, aber auch für Kfz-Mechaniker und Kfz-Elektriker kein neues Thema. Schon während der Ausbildung müssen die Mitarbeiter in Kfz-Werkstätten elektrische Schaltungen herstellen und Ströme, Spannungen sowie Widerstände messen. Die Spannungen und Stromstärken liegen bei konventionellen Kraftfahrzeugen in einem Größenbereich, der normalerweise für den Menschen nicht gefährlich ist.

Aufgrund der CO₂-Diskussion und der steigenden Kraftstoffpreise sind in den vergangenen Jahren verschiedene alternative Antriebe und Kraftstoffe verstärkt zum Einsatz gekommen. Eine Variante dieser alternativen Antriebe sind die so genannten Hybridfahrzeuge. Hybridfahrzeuge verfügen neben dem konventionellen Verbrennungsmotor zusätzlich über einen Elektromotor und einen Generator.

Die relativ hohe Leistung dieser Komponenten macht es erforderlich, dass bei Hybridfahrzeugen mit sehr hohen Spannungen gearbeitet wird. Mit Spannungen dieser Größenordnung kamen die Mitarbeiter in Kfz-Werkstätten bisher in der Regel nicht in Kontakt.

Mit hohen Spannungen müssen die Mitarbeiter in Kfz-Werkstätten in Zukunft aber nicht nur an Hybridfahrzeugen umgehen können. Auch Elektro- und Brennstoffzellenfahrzeuge werden in Zukunft mit ähnlichen oder höheren Spannungen angetrieben.

Dieses Schulungshandbuch ist die Grundlage, Kfz-Mechaniker, Kfz-Elektriker und Kfz-Mechatroniker sowie Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker bzw. Mechaniker für Karosserieinstandhaltungstechnik auch zu Fachkundigen für Arbeiten an eigensicheren Hochvolt-Systemen zu qualifizieren.

Bei den Grundsatzdiskussionen zur Erstellung dieses Schulungshandbuches haben wir eng mit dem Verband der Automobilhersteller e.V. (VDA), dem Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. (VDIK) und dem Zentralverband Karosserie- und Fahrzeugtechnik e.V. (ZKF) zusammen gearbeitet.

Besonders freut uns, dass wir dieses Handbuch im Rahmen unserer sehr konstruktiven Kooperation mit dem Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung, ansässig bei der Berufsgenossenschaft Metall Nord Süd, erstellen konnten.

Ohne die Unterstützung der Mitglieder der Arbeitskreises "Qualifizierungsmaßnahmen für Arbeiten an Fahrzeugen mit Hochvoltsystemen (HV-Fahrzeuge)" - Vertreter der Automobilindustrie - wäre die Erstellung dieses Schulungshandbuches nicht möglich gewesen. Wir bedanken uns daher ganz besonders auch bei folgenden Firmen:

- BMW AG, München
- Robert Bosch GmbH, Plochingen
- Daimler AG, Böblingen
- Honda Motor Europe (North) GmbH, Offenbach
- Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Ludwigsburg
- Toyota Deutschland GmbH, Köln
- Volkswagen AG, Wolfsburg

Den Teilnehmern an den Schulungen wünschen wir viel Erfolg.

Robert Rademacher
Präsident

Wihelm Hülsdonk
Bundesinnungsmeister

Dr. Axel Koblitz
Hauptgeschäftsführer

Vorwort des

Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung

In den Ausbildungsberufen Kfz-Mechaniker, Kfz-Elektriker und Kfz-Mechatroniker werden bereits seit 1973 elektrotechnische Grundkenntnisse im theoretischen Teil vermittelt. Darüber hinaus werden das Messen elektrischer Größen und das Arbeiten an elektrotechnischen Aggregaten und Systemen sowohl in der überbetrieblichen wie auch in der betrieblichen Ausbildung praktisch vermittelt. Das Gleiche gilt auch für die Ausbildungsberufe Karosserie- und Fahrzeugbaumechaniker bzw. Mechaniker für Karosserieinstandhaltungstechnik seit 2002.

Personen, die nach den genannten Zeitpunkten in einem der genannten Ausbildungsberufe ausgebildet worden sind oder eine entsprechende Zusatzausbildung als Kfz-Servicetechniker bzw. Meister nachweisen können, besitzen die notwendige Eingangsqualifizierung für Arbeiten an Kraftfahrzeugen unterhalb der HV-Spannung.

Elektrotechnische Arbeiten an HV-Systemen in Fahrzeugen (z.B. Wechsel von HV-Komponenten, Spannungsfreiheit feststellen) dürfen nur von Fachkundigen oder unter deren Leitung und Aufsicht erfolgen. Die dazu notwendige Qualifizierung hängt von der Vorbildung und den vorhandenen Erfahrungen der zu qualifizierenden Mitarbeiter sowie von der Art der elektrotechnischen Arbeiten ab. Arbeiten an Serienfahrzeugen haben eine geringere elektrische Gefährdung als an Vorserienfahrzeugen. Damit muss die Qualifizierung für elektrotechnische Arbeiten an Serienfahrzeugen weniger umfangreich sein als die für Arbeiten an Vorserienfahrzeugen.

Nach erfolgreicher Absolvierung dieser Qualifizierung sind die Mitarbeiter Fachkundige für HV-Systeme in Serienfahrzeugen. Die zusätzliche Qualifizierung befähigt die Mitarbeiter, selbständig an derartigen Fahrzeugen (z.B. Hybridfahrzeugen) gefahrungsfrei elektrotechnische Arbeiten durchführen zu können. Sie müssen in der Lage sein, die übertragenen Arbeiten zu beurteilen, mögliche Gefahren zu erkennen und die für das HV-System notwendigen Schutzmaßnahmen umzusetzen.

Unser besonderer Dank gilt dem Fachausschuss Elektrotechnik, mit dessen konstruktiver Hilfe das Festlegen von Inhalt und Umfang der Qualifizierung möglich war.

Josef Diekmann
Leiter Prävention, Präventionsdienste und Ausbildung
Leiter des Fachausschusses Metall und Oberflächenbehandlung

Inhaltsverzeichnis

ZDK-Vorwort 3

Vorwort des 4

Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung 4

Inhaltsverzeichnis 5

Abbildungsverzeichnis 7

Teil I: Grundlage 13

I.1 Elektrotechnische Grundlagen 13

I.1.2 Elektrotechnische Größen und Maßeinheiten 16

I.1.3 Messen und Berechnen elektrischer Größen 21

I.1.4 Rechnen mit Zehnerpotenzen (Dezimale Vielfache und Teile) 29

I.2 Elektrotechnische Bauteile und Schaltungen 31

I.2.1 Kondensatoren 31

I.2.2 Spulen und Relais (Magnetische Felder und Kräfte) 36

I.2.3 Halbleiter 44

I.3 Elektrische Maschinen 53

I.3.1 Drehstrommaschine als Spannungserzeuger (Generator) 53

I.3.2 Spannungswandlung 56

I.3.3 Drehstrommaschine als Motor 58

Teil II: Alternative Antriebe 61

II.1 HV-Konzept und Kraftfahrzeugtechnik 63

II.1.1 HV-Komponenten 65

II.1.2 Aufbau, Funktion und Wirkungsweise von HV-Fahrzeugen 73

II.1.3 Sonstige HV-Komponenten 87

II.2 Gefahren des elektrischen Stroms 88

II.2.1 Wirkungen des elektrischen Stroms auf den Menschen 88

II.2.2 Lichtbogeneinwirkung 92

II.2.3 Sekundärunfälle 93

Inhaltsverzeichnis

II.2.4	Erste Hilfe	94
II.3	Allgemeine Vorschriften für sicheres Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln nach BGV A3 und VDE 0105-100	96
II.3.1	Öffentliches Stromnetz	97
II.3.2	Begriffe	100
II.3.3	Allgemeine Schutzmaßnahmen gegen elektrische Körperdurchströmung und Störlichtbögen	104
II.4	Anforderungen an Personen im Bereich Elektrotechnik	113
II.4.1	Allgemeine Vorgaben der VDE 1000 Teil 10 (1995-05)	116
II.4.2	Verantwortung	119
II.4.3	Folgen von Pflichtverletzungen im Arbeitsschutz	121
II.5	Definition "HV-eigensicheres Fahrzeug"	122
II.5.1	Sicherheitskonzepte bei HV-Fahrzeugen	124
II.5.2	Fahrzeugintegrierte Sicherheitskonzepte	127
II.5.3	Anwendung der allgemeinen Sicherheitsregeln - Praktisches Vorgehen bei Arbeiten an HV-Fahrzeugen und -Systemen	133
Stichwortverzeichnis		137
Quellen	141	
Literatur	141	
Internetlinks	141	
Vorschriften/Normen		141

Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I - 1:	Energiequellen	13
Abbildung I - 2:	Physikalische Größen im Trinkwassernetz	14
Abbildung I - 3:	Physikalische Größen im elektrischen Netz.....	14
Abbildung I - 4:	Physikalische Größen im Kfz-Bordnetz	15
Abbildung I - 5:	Darstellung der elektrischen Bauteile und physikalischer Größen im Schaltplan	15
Abbildung I - 6:	Darstellung des Spannungsverlaufs auf einem Oszilloskop	16
Abbildung I - 7:	Gegenüberstellung des "Wasservolumenstroms" und des elektrischen Stroms.....	17
Abbildung I - 8:	Stromrichtung.....	17
Abbildung I - 9:	Physikalische Stromrichtung	18
Abbildung I - 10:	Stromstärke in Abhängigkeit der Spannung bei konstantem Widerstand	19
Abbildung I - 11:	Messgeräte zur Messung elektrischer Größen	22
Abbildung I - 12:	Anbringen des Spannungsmessgerätes	23
Abbildung I - 13:	Anbringen des Strommessgerätes.....	24
Abbildung I - 14:	Anbringen des Widerstandsmessgerätes	25
Abbildung I - 15:	Reihenschaltung	26
Abbildung I - 16:	Reihenschaltung zweier Spannungsquellen (12 V-Batterien).....	27
Abbildung I - 17:	Parallelschaltung.....	27
Abbildung I - 18:	Beispiel für eine Parallelschaltung im Kraftfahrzeug.....	28
Abbildung I - 19:	Dezimale Vielfache	29
Abbildung I - 20:	Dezimale Teile	29
Abbildung I - 21:	Darstellung eines Kondensators im Schaltkreis.....	31
Abbildung I - 22:	Elektrodenfluss beim Aufladen eines Kondensators.....	31
Abbildung I - 23:	Aufgeladener Kondensator	32
Abbildung I - 24:	Entladen eines Kondensators	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I - 25:	Entladener Kondensator	33
Abbildung I - 26:	Aufbau eines Kondensators	34
Abbildung I - 27:	Kraftwirkung von Magneten	36
Abbildung I - 28:	Magnetfelder	36
Abbildung I - 29:	Spannungserzeugung in einer Spule (1).....	37
Abbildung I - 30:	Spannungserzeugung in einer Spule (2).....	37
Abbildung I - 31:	Spannungserzeugung in einer Spule (3).....	38
Abbildung I - 32:	Spannungserzeugung in einer Spule (4).....	38
Abbildung I - 33:	Spannungserzeugung in einer Spule (5).....	39
Abbildung I - 34:	Spule als Magnet	39
Abbildung I - 35:	Funktionsweise des Relais.....	40
Abbildung I - 36:	Schaltzeichen von Relais	40
Abbildung I - 37:	Beispiel für ein Relais zum Einsatz im Kraftfahrzeug.....	41
Abbildung I - 38:	Funktion der Zündspule	42
Abbildung I - 39:	Schnittdarstellung einer Zündspule.....	43
Abbildung I - 40:	Funktionsprinzip der Diode (in Durchflussrichtung)	44
Abbildung I - 41:	Funktionsprinzip der Diode (in Sperrrichtung).....	44
Abbildung I - 42:	Schaltzeichen einer Diode	45
Abbildung I - 43:	Dioden in einem Stromkreis	46
Abbildung I - 44:	Aufbau einer np-Diode	47
Abbildung I - 45:	Elektronenfluss in einer Diode	48
Abbildung I - 46:	Diode in Sperrrichtung	49
Abbildung I - 47:	Elektronenfluss bei einer Diode in Sperrrichtung	49
Abbildung I - 48:	Diode als Isolator	50
Abbildung I - 49:	Aufbau eines pnp-Transistors	50
Abbildung I - 50:	Ansteuerung eines pnp-Transistors	51
Abbildung I - 51:	Aufbau eines npn-Transistors	52
Abbildung I - 52:	Schaltung eines npn-Transistors.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I - 53:	Spule als Wechselstromgenerator	53
Abbildung I - 54:	Einphasenwechselspannung (ohne Phasenverschiebung)	54
Abbildung I - 55:	Einphasenwechselspannung (120° Phasenverschiebung).....	54
Abbildung I - 56:	Einphasenwechselspannung (240° Phasenverschiebung).....	54
Abbildung I - 57:	Dreiphasenwechselspannung (Drehstrom/Drehspannung)	55
Abbildung I - 58:	Gleichrichtung einer Einphasenwechselspannung	56
Abbildung I - 59:	Gleichrichtung einer Dreiphasenwechselspannung	56
Abbildung I - 60:	Spannungsverlauf einer gleichgerichteten Dreiphasenwechselspannung	57
Abbildung I - 61:	Spannungsverläufe zum Antrieb eines Drehstrommotors	58
Abbildung I - 62:	Sinuskurve und Rechteckspannung	58
Abbildung I - 63:	Rechteckspannung zum Antrieb eines Drehstrommotors.....	59
Abbildung I - 64:	Bauteile eines Drehstrommotor/-generators	60
Abbildung II - 1:	HV-Komponenten am Beispiel eines Hybridfahrzeugs (Quelle: Bosch)	65
Abbildung II - 2:	Prinzipdarstellung eines NiMH-Batteriepacks ohne Batterie-ECU und Sicherheitseinrichtungen.....	66
Abbildung II - 3:	Elektrische Trennung der HV-Batterie	68
Abbildung II - 4:	HV-Batterie mit Service-/Wartungsstecker (Service Disconnect)	68
Abbildung II - 5:	Anordnung der Batterietrennung bzw. des Service-/Wartungssteckers (Service Disconnect).....	69
Abbildung II - 6:	HV-Batterie mit Batterie-Hauptschalter	69
Abbildung II - 7:	Lage und Ausführung eines Batterie-Hauptschalters (Quelle: Honda)	70
Abbildung II - 8:	Prinzipdarstellung des Inverters	70
Abbildung II - 9:	Motorgenerator (MG) Schnittbild (Quelle: Bosch).....	72
Abbildung II - 10:	Hybrid Systeme - Überblick	74
Abbildung II - 11:	Schema eines parallelen Hybridantriebs mit starrer Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Motorgenerator	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung II - 12: Fahrzyklus eines parallelen Hybridantriebs mit starrer Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Motorgenerator.....	76
Abbildung II - 13: Schema eines parallelen Hybridantriebs mit lösbarer Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Motorgenerator (geöffnete Kupplung) .	78
Abbildung II - 14: Schema eines parallelen Hybridantriebs mit lösbarer Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Motorgenerator (geschlossene Kupplung).....	79
Abbildung II - 15: Fahrzyklus eines parallelen Hybridantriebs mit lösbarer Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Motorgenerator	79
Abbildung II - 16: Planetengetriebe zur Leistungsverzweigung bei einem parallelen Hybridantrieb.....	80
Abbildung II - 17: Schema eines parallelen Hybridantriebs mit Leistungsverzweigung über ein Planetengetriebe	81
Abbildung II - 18: Schema eines seriellen Hybridantriebs mit einem zentralen Motorgenerator.....	82
Abbildung II - 19: Schema eines seriellen Hybridantriebs mit vier Motorgeneratoren an den Rädern	82
Abbildung II - 20: Schema eines Elektrofahrzeugs	83
Abbildung II - 21: Funktionsweise der Brennstoffzelle	84
Abbildung II - 22: Schema eines Brennstoffzellenantriebs mit zentralem Elektromotor/-generator.....	85
Abbildung II - 23: Schema eines Brennstoffzellenantriebs mit Elektromotoren/-generatoren an den Rädern	85
Abbildung II - 24: Nebenaggregate in einem Voll-Hybridfahrzeug	86
Abbildung II - 25: 230 V-Steckdose in einem Pkw (Quelle: Volkswagen)	87
Abbildung II - 26: Widerstand des menschlichen Körpers.....	90
Abbildung II - 27: Körperreaktionen im Zeit-Stromdiagramm Gleichstrom (DC) (Quelle: Seminar ETC VMBG nach IEC-Report 479-1)	91
Abbildung II - 28: Körperreaktionen im Zeit-Stromdiagramm Wechselstrom (AC) (Quelle: Seminar ETG VMBG nach IEC- Report 479-1)	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung II - 29: Dreiphasenwechselspannung im öffentlichen Stromnetz (Prinzipdarstellung)	97
Abbildung II - 30: Effektivwert im öffentlichen Stromnetz	98
Abbildung II - 31: Anschluss einer "230 V-Steckdose" an das öffentliche Drehstromnetz	98
Abbildung II - 32: Die fünf Sicherheitsregeln	101
Abbildung II - 33: Beispiele für die Ausführung des Warnzeichens "Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung" in HV-Fahrzeugen	103
Abbildung II - 34: Schutzmaßnahmen	105
Abbildung II - 35: Basisisolierung	106
Abbildung II - 36: Beispiele für Abdeckung oder Umhüllung	106
Abbildung II - 37: Basisschutz unter besonderen Bedingungen	107
Abbildung II - 38: Isolationsüberwachung im isolierten Netz	108
Abbildung II - 39: Prinzip Trenntransformator (Quelle: Fa. Elspro)	109
Abbildung II - 40: Schematische Darstellung Schutzkleinspannung	110
Abbildung II - 41: Fehlerstrom-(FI)-Schutzschaltung RCD ist die Abkürzung für Residual Current (Protective) Device und ersetzt die Bezeichnung Fehlerstrom- Schutzschalter	110
Abbildung II - 42: Elektrofachkraft	116
Abbildung II - 43: Elektrotechnisch unterwiesene Person	117
Abbildung II - 44: Verantwortliche Elektrofachkraft	118
Abbildung II - 45: Verantwortung	119
Abbildung II - 46: Folgen von Pflichtverletzungen	121
Abbildung II - 47: Beispiele für die Anordnung der HV-Kabel	125
Abbildung II - 48: Beispiele für die Ausführung des Warnzeichens "Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung"	126
Abbildung II - 49: Beispiele für Batteriemodule mit Batteriepack und Sicherheitseinrichtungen	127
Abbildung II - 50: Beispiele für die Ausführung des Wartungs-/Servicesteckers bzw. Batterie-Hauptschalters	128

Abbildungsverzeichnis

Abbildung II - 51: Beispiel für ein Batteriemodul beim Einschalten der Zündung (Sicherheitseinrichtungen nicht abgebildet)	129
Abbildung II - 52: Beispiel für ein Batteriemodul im betriebsbereiten Zustand (Sicherheitseinrichtungen nicht abgebildet)	130
Abbildung II - 53: Batteriemodul mit Wartungs-/Servicestecker bzw. Batterie-Hauptschalter 131	
Abbildung II - 54: Beispiel für das Entfernen des Service-/Wartungssteckers (Quelle: Toyota) 134	
Abbildung II - 55: Beispiel für das Ausschalten des Batterie-Hauptschalters.....	134
Abbildung II - 56: Beispiel für die Anzeige der Spannungsfreiheit im Armaturenbrett (Quelle: BMW)	135
Abbildung II - 57: Einige vorschriftsmäßige Spannungsprüfer	135
Abbildung II - 58: Beispiel für Handschuhe zum Schutz gegen HV-Spannung und Lichtbögen	136