

# Hybrid- und Elektroantriebe



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

- Hybridfahrzeuge
- Elektrofahrzeuge
- Brennstoffzellen



# **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 CO<sub>2</sub>-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 Schulungshandbuchs haben wir eng mit dem Verband der Automobilhersteller e.V. (VDA), dem Verband der Internationalen Kraftfahrzeughsteller 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 Schulungshandbuchs 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

Wilhelm 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) gefährdungsfrei 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

---

## Inhaltsverzeichnis

**ZDK-Vorwort** 3

**Vorwort des** 4

<b>Fachausschuss Metall und Oberflächenbehandlung</b>	4
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	5
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	7
<b>Teil I: Grundlage</b>	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
<b>Teil II: Alternative Antriebe</b>	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
<b>Stichwortverzeichnis</b>		<b>137</b>
<b>Quellen</b>	<b>141</b>	
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 Sperrichtung).....	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 Sperrichtung .....	49
Abbildung I - 47:	Elektronenfluss bei einer Diode in Sperrichtung .....	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