

# Leseprobe

**Christiani**

seit 1931

Henning Wagner · Reinhard Maier · Jürgen Schubert

## Alternative Antriebe – E-Mobilität

Wie wird man fachkundige Person für Arbeiten  
an Hochvolt-Systemen im Kraftfahrzeug?

Elektrofahrzeuge · Hybridfahrzeuge · Brennstoffzellenfahrzeuge



Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG  
[www.christiani.de](http://www.christiani.de)

Henning Wagner  
Reinhard Maier  
Jürgen Schubert

# **Alternative Antriebe – E-Mobilität**

**Wie wird man Fachkundige Person  
für Arbeiten an Hochvolt-Systemen in Kraftfahrzeugen?**

**Elektrofahrzeuge – Hybrid-Fahrzeuge – Brennstoffzellen-Fahrzeuge**

4. Auflage 2023

**Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG**

Bestell-Nr. 92993  
ISBN 978-3-95863-339-1

4. Auflage 2023

© 2012 by Dr.-Ing. Paul Christiani GmbH & Co. KG, Konstanz

Alle Rechte, einschließlich der Fotokopie, Verfilmung, Wiedergabe durch Bild- und Tonträger jeder Art und des auszugsweisen Nachdrucks, vorbehalten. Nach dem Urheberrechtsgesetz ist die Vervielfältigung urheberrechtlich geschützter Werke oder von Teilen daraus auch für Zwecke von Unterricht und Ausbildung nicht gestattet, außer nach Einwilligung des Verlages und ggf. gegen Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums. Nach dem Urheberrechtsgesetz wird mit Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder mit Geldstrafe bestraft, „wer in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen ohne Einwilligung des Berechtigten ein Werk vervielfältigt ...“

## Zu den Autoren

Der Autor **Henning Wagner** hat vor seinem Maschinenbau-Studium zwei Berufe erlernt und in diesen jahrelang als Motorrad-Mechaniker und Werkzeugmacher gearbeitet. Nach seinem Maschinenbau-Studium unterrichtete er als Berufsschullehrer/Studiendirektor 35 Jahre lang Fahrzeugtechnik, insbesondere Fachklassen für Kfz-Elektriker, Kfz-Mechatroniker im Schwerpunkt Fahrzeugkommunikationstechnik und dann im Schwerpunkt System- und Hochvolt-Technik sowie in der Meisterschule für das Kraftfahrzeugtechnikerhandwerk.

Als Fachberater für Fahrzeugtechnik war der Autor im Auftrag seines Regierungspräsidiums und des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg über 20 Jahre lang sehr engagiert in der Lehrerfortbildung und Mitglied in Lehrplan-Kommissionen, der Umsetzungskommission zur Einführung der Lernfelder und im Landesfachausschuss zur Koordinierung der Abschlussprüfungen der Kfz-Mechatroniker.

Aufgrund seines Werdegangs legt der Autor sehr häufig selbst Hand an in der Werkstatt, um die Kfz-Technik aus der Sicht des Werkstattpersonals, d. h. der Auszubildenden, mitzuerleben und seinen Unterricht und damit dieses Buch so praxisnah wie möglich auf dem neuesten Stand der Technik zu gestalten.

Um sich noch stärker der Thematik E-Mobilität und Hochvolt-Technik widmen zu können, hat der Autor das „(Privat-) Institut für Hochvolt-Technik Henning Wagner“ (<https://www.hochvolt-technik.de>) gegründet, entwickelt HV-Lehrmittel, führt Planungen und Beratungen durch. Seit Sommer 2018 ist er aus dem Schuldienst ausgetreten und führt jetzt hauptberuflich HV-Schulungen der Stufe 1, 2 und 3 nach den Vorgaben der DGUV I 200-005 und 209-093 bei Industrieunternehmen wie Daimler Truck AG, Harman Becker Automotive GmbH, Deutz AG, MAFI und TREPEL GmbH, APS-technology GmbH, ... sowie für die Hessische Landesstelle für Technologiefortbildung etc. sehr erfolgreich durch.

-----

Der Autor **Reinhard Maier** hat den Beruf Kfz-Elektriker und Mechaniker erlernt. In der weiteren Ausbildung hat er den Elektro-Techniker erworben. Er unterrichtet seit über 30 Jahren Fahrzeugtechnik, insbesondere Fachklassen für Kfz-Elektriker und jetzt Kfz-Mechatroniker im Schwerpunkt Fahrzeugkommunikationstechnik sowie System- und Hochvolttechnik.

Als Fachbetreuer für Fahrzeugtechnik ist der Autor im Auftrag seines Regierungspräsidiums und des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg seit vielen Jahren sehr engagiert in der Lehrerfortbildung, der Umsetzungskommission zur Einführung der Lernfelder und im Erstellen von Unterrichtseinheiten für den Werkstatt-Unterricht tätig.

Sein besonderes Engagement gilt der Weiterentwicklung des Werkstattunterrichtes in der Berufsschule.

-----

Der Autor **Jürgen Schubert** ist gelernter Kraftfahrzeugmechaniker und -Meister. Als technischer Lehrer für Fahrzeugtechnik unterrichtet er seit 20 Jahren vor allem Fachpraxis im Werkstattbereich einer beruflichen Schule in Baden-Württemberg. Dabei umfasst sein Tätigkeitsfeld Grundstufen, Fachstufen sowie die Meisterschule für das Kraftfahrzeugtechnikerhandwerk, hier mit dem Schwerpunkt Elektrik/Elektronik.

Als Fachberater für Fahrzeugtechnik und Mitglied einer Kfz-Arbeitsgruppe ist er für sein Regierungspräsidium tätig. Hier besteht seine Aufgabe in der Aufbereitung aktueller Technikthemen und in deren Umsetzung bei entsprechenden regionalen und überregionalen Lehrerfortbildungen.

-----

Diese jahrelangen Erfahrungen lassen die drei Autoren, die auch hauptberuflich ein Team bilden, in den vorliegenden Lehrgang einfließen.

## Vorwort

Das Buch hat sich seit über 10 Jahren als Standardwerk für die Hochvolt-Qualifizierung von Mitarbeitern im Bereich der Kfz-technischen Berufe etabliert. Folgende Gründe machten es notwendig, das Werk grundlegend zu überarbeiten:

- Der schnelle technologische Wandel ändert HV-Einrichtungen und bringt neue Technik in die Fahrzeuge.
- Die gesetzlichen Vorgaben wurden angepasst, so dass aus der wesentlichen DGUV-Schrift BGI 8686 von 2010 über die DGUV Information 200-005 von 2012 die neue DGUV Information 209-093 von 2021 wurde, die hier zusammen mit anderen gesetzlichen Schriften eingearbeitet wurde.
- Die Hochvolt-Technik zieht in weitere Kfz-Bereiche ein, sodass neue Kapitel zu folgenden Themen aufgenommen wurden:
  - HV im Nutzfahrzeug
  - HV im Motorrad
  - HV in Flurförder- und Schienenfahrzeugen
- Themen wie Potenzialausgleich, Isolationsüberwachung und -prüfung, Ladetechnik, Umwandlung von DC in AC und umgekehrt geraten stärker in den Focus.

Zu den Grundlagen im Kapitel 6 gibt es umfangreiches Zusatzmaterial wie Mathematik- und Laboraufgaben, die über folgenden QR-Code kostenlos abgerufen werden können:



<https://www.c-learning.com/alternative-antriebe-labor-und-mathematikaufgaben/>

Autoren und Verlag bedanken sich bei Herrn Gerion Meyer, der das Umschlagfoto zur Verfügung gestellt hat. Auch allen anderen Personen und Firmen, die das Buch durch Fachinformationen, Freigabe von Abbildungen oder auf andere Weise unterstützt haben, gilt unser herzlichster Dank!

### Hinweis:

In den einzelnen Kapiteln gibt es immer wieder Verweise zu Informationen im Internet, die über QR-Codes aufgerufen werden können – etwa Animationen, Videos auf der Plattform YouTube oder ähnliches. Solche Inhalte unterliegen der Pflege und Fortführung der einzelnen Urheber. So kann es durchaus sein, dass solche Verlinkungen irgendwann nicht mehr zur Verfügung stehen, weil sie durch die Urheber gelöscht werden. Darauf haben die Verfasser dieses Werkes leider keinen Einfluss.

Inhalt

**Inhalt**

<b>1</b>	<b>Warum muss man eine Hochvolt-Qualifikation besitzen, um an modernen Kraftfahrzeugen mit E-Antrieben arbeiten zu dürfen? . . .</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung mithilfe von Arbeits-Situationen im Alltag . . . . .	1
1.2	Verankerung der Qualifikation in der DGUV Information 209-093 . . . . .	5
1.3	Warum elektrisch angetriebene Kfz jetzt? . . . . .	11
1.4	Probleme beim Ausbau der E-Mobilität . . . . .	15
1.5	Wie sieht die Prognose für die Zukunft aus? . . . . .	20
1.6	Wer kauft nun diese E-Fahrzeuge? . . . . .	24
1.7	Ist die Umweltbilanz von E-Pkw besser als bei konventionellen Pkw? . . . . .	25
1.8	Welche Reichweiten sind in Zukunft zu erwarten und wie entwickeln sich dazu die Batterien? . . . . .	25
1.9	Zeichnen sich Rohstoff-Engpässe für die E-Mobilität ab? . . . . .	27
<b>2</b>	<b>Grundsätzlicher Aufbau von HV-Fahrzeugen. . . . .</b>	<b>28</b>
2.1	Die typischen Hochvolt-Bauteile . . . . .	30
<b>3</b>	<b>Antriebskonzepte: Definitionen und Klassifizierung von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Elektro-Antrieben . . . . .</b>	<b>34</b>
3.1	Definition Hybridfahrzeug . . . . .	34
3.2	Aufbau eines Hybridfahrzeugs . . . . .	35
3.3	Einteilung der E-Fahrzeuge nach Anordnung der Antriebe . . . . .	36
3.4	Klassifizierung von Parallelhybrid-Fahrzeugen . . . . .	37
3.5	Einteilung der Hybridfahrzeuge nach Leistung bzw. nach Hybridisierungsgrad . . . . .	39
3.6	Einteilung der E-Fahrzeuge nach Aufbau des Antriebsstrangs . . . . .	40
<b>4</b>	<b>Welche Gefahren treten für den Entwickler, den Mitarbeiter in der Werkstatt, beim Abschleppdienst oder für den Ersthelfer bei Unfällen beim Umgang mit elektrisch betriebenen Kfz auf und wie wird diesen begegnet? . . . . .</b>	<b>54</b>
4.1	Statistische Erfahrungen der Berufsgenossenschaften mit Elektrounfällen . . . . .	57
4.2	Gefährdung durch Einwirkung elektrischer Ströme . . . . .	59
4.2.1	Physiologische Wirkung des elektrischen Stromes . . . . .	59
4.2.2	Auswirkungen des elektrischen Stroms auf den menschlichen Organismus . . . . .	62
4.3	Gefährdung durch Lichtbogeneinwirkung . . . . .	65
4.3.1	Augenschäden durch Lichtintensität und Strahlung . . . . .	67
4.3.2	Schäden durch Hitzeentwicklung . . . . .	67
4.4	Gefährdung durch Sekundärnfälle . . . . .	68
4.5	Schutzmaßnahmen gegen elektrische Körperdurchströmung und Lichtbogeneinwirkung im öffentlichen Netz und im Kfz . . . . .	68
4.5.1	Definition/Einteilung von Gefährdungsklassen . . . . .	68



Inhalt

4.5.2	Gefährdungsgrenzen . . . . .	70
4.5.3	Aufbau elektrischer Netze, Gefährdungssituationen . . . . .	71
4.5.4	Schutzvorkehrungen in elektrischen Installationen und Geräten . . . . .	72
4.5.5	Schutzmaßnahmen in Kraftfahrzeugen . . . . .	79
4.5.6	Festlegung „HV-eigensicheres Fahrzeug“ . . . . .	80
4.5.7	Sicherheitsmaßnahmen bei Arbeiten an Hochvolt-Fahrzeugen . . . . .	89
4.5.8	Persönliche Schutzausrüstung (PSA) . . . . .	102
<b>4.6</b>	<b>Verhalten bei Unfällen, Erste Hilfe . . . . .</b>	<b>104</b>
4.6.1	Rechtliche Grundlagen bei Hilfeleistungen . . . . .	104
4.6.2	Ablaufschema lebensrettender Sofortmaßnahmen . . . . .	104
4.6.3	Eigensicherung als Helfer, Bergung aus Gefahrenbereichen . . . . .	105
4.6.4	Schema von Notfallmeldungen . . . . .	105
4.6.5	Einsatz eines AED (automatisierter externer Defibrillator) . . . . .	106
<b>5</b>	<b>Welche rechtlichen Vorschriften müssen beim Umgang in der          Werkstatt mit elektrisch angetriebenen Fahrzeugen beachtet          werden? Welche Anforderungen werden an das Werkstatt-          Personal gestellt? . . . . .</b>	<b>108</b>
<b>5.1</b>	<b>(Un-)überschaubarer „Wald“ von Gesetzen, Verordnungen und          Vorschriften . . . . .</b>	<b>108</b>
5.1.1	Fachkundige Person Hochvolt (FHV) . . . . .	113
5.1.2	Fachkundig unterwiesene Person (FUP) . . . . .	115
5.1.3	Sensibilisierte Person . . . . .	117
5.1.4	Elektrotechnischer Laie . . . . .	117
5.1.5	Leitung und Aufsicht . . . . .	118
5.1.6	Fachkundige Leitung . . . . .	118
5.1.7	Betriebliche Organisation . . . . .	119
5.1.8	Unternehmerverantwortung . . . . .	123
5.1.9	Ausbildung und Qualifikation der Mitarbeiter . . . . .	125
<b>5.2</b>	<b>Fachkundige Person Hochvolt (FHV) mit Qualifikation Stufe 3          für Arbeiten an unter Spannung stehenden HV-Komponenten . . . . .</b>	<b>126</b>
5.2.1	DGUV Vorschrift 3 und „Arbeiten unter Spannung“ . . . . .	127
5.2.2	DGUV I 209-093 und Qualifikation Stufe 3 mit „Arbeiten unter Spannung“ . . . . .	130
<b>5.3</b>	<b>Grundsätze zur Gefährdungsbeurteilung laut DGUV Information 209-093: 131</b>	<b>131</b>
5.3.1	Wie wird eine Gefährdungsbeurteilung erstellt? . . . . .	132
5.3.2	Betriebsanweisung . . . . .	136
<b>5.4</b>	<b>Hersteller-Produktschulung – Gebrauchsanweisung . . . . .</b>	<b>141</b>
<b>5.5</b>	<b>Besonderheiten bei der HV-Qualifizierung für Arbeiten im          Fertigungsprozess . . . . .</b>	<b>142</b>
5.5.1	Montage . . . . .	142
5.5.2	Inbetriebnahme (Finish) nach der Montage . . . . .	143
5.5.3	Elektrische Prüfungen . . . . .	143
<b>5.6</b>	<b>Besonderheiten bei Pannenhilfe, Bergen und Verschrotten . . . . .</b>	<b>144</b>
<b>5.7</b>	<b>Erhaltung der fachlichen Fähigkeit . . . . .</b>	<b>145</b>
<b>5.8</b>	<b>Folgen von Pflichtverletzungen . . . . .</b>	<b>146</b>
<b>5.9</b>	<b>Beispiele für Zertifikate „Fachkundiger für Arbeiten an HV-Systemen          in Kfz“ . . . . .</b>	<b>148</b>



Inhalt

**6 Welches elektrotechnische Grundlagenverständnis muss man auffrischen, um „fit“ für die Hochvolt-Technik in modernen „E-Kfz“ zu sein? . . . . . 150**

**6.1 Größen im elektrischen Stromkreis messen und berechnen. . . . . 150**

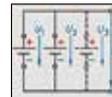
6.1.1 Die elektrische Spannung  $U$  . . . . . 150

6.1.2 Der elektrische Strom  $I$  . . . . . 151

6.1.3 Der elektrische Stromkreis . . . . . 152

6.1.4 Der elektrische Widerstand  $R$  . . . . . 153

6.1.5 Die elektrische Leistung  $P$  . . . . . 154



**6.2 Schaltpläne. . . . . 155**

6.2.1 Stromlaufplan in zusammenhängender und aufgelöster Darstellung am Beispiel einer Kfz-Innenbeleuchtung . . . . . 155

6.2.2 Übersichtsschaltplan am Beispiel VW e-up . . . . . 157

6.2.3 Beispiel normgerechter Stromlaufplan Hybridfahrzeug Toyota Prius I . . . . . 158

6.2.4 Beispiel eines Hersteller-Stromlaufplans eines VW Touareg Hybrid . . . . . 159

**6.3 Elektrische Schaltungen. . . . . 160**

6.3.1 Parallelschaltung von elektrischen Verbrauchern . . . . . 160

6.3.2 Parallelschaltung von Spannungsquellen . . . . . 161

6.3.3 Reihenschaltung von elektrischen Verbrauchern (am Beispiel der Instrumentenbeleuchtung aus 6.3.1) . . . . . 162

6.3.4 Reihenschaltung von Spannungsquellen. . . . . 163

6.3.5 Warum brauchen wir so hohe Spannungen bei E-Mobilität? . . . . . 164

**6.4 Wechselspannung mit dem Oszilloskop messen. . . . . 165**



**6.5 Elektronische Bauteile . . . . . 166**

6.5.1 Die Diode . . . . . 166

6.5.2 Einfache Gleichrichtung . . . . . 167

6.5.3 Brücken-Gleichrichtung . . . . . 168

6.5.4 B6 Brücken-Gleichrichtung einer 3-Phasen-Wechselspannung (3~) . . . . . 169

6.5.5 Beispiele für Anwendungen von Dioden im Kraftfahrzeug . . . . . 170



6.5.6 Die Zener-Diode . . . . . 171

6.5.7 Anwendungen von Z-Dioden im Kraftfahrzeug . . . . . 172

6.5.8 Der bipolare Transistor . . . . . 173

6.5.9 Anwendungsbeispiel Transistor als Schalter (Endstufe): Beleuchtung Nfz . . . . . 174

6.5.10 Der (unipolare) Feldeffekt-Transistor am Beispiel N-Kanal-MOS-FET . . . . . 175

6.5.11 Anwendungsbeispiel MOS-FET (Endstufe) im Kraftfahrzeug . . . . . 176

6.5.12 Der IGBT-Transistor . . . . . 177

6.5.13 Anwendung des IGBT-Transistors als Wechselrichter in HV-Klima-Kompressoren . . . . . 178

6.5.14 Der Thyristor . . . . . 179

6.5.15 Thyristor-Anwendung in Motorrad-Drehstrom-Gleichrichter und -„Regler“ . . . . . 180

**6.6 Grundlagen Generator . . . . . 181**

6.6.1 Spannungserzeugung durch Induktion der Bewegung (Generator-Prinzip) . . . . . 181

6.6.2 Was ist Drehstrom? . . . . . 183

6.6.3 Drehstromgenerator (Stern- und Dreieckschaltung) . . . . . 184

6.6.4 Bauteile des Drehstrom-Generators . . . . . 187

6.6.5 Gleichrichtung der 3-Phasen-Wechselspannung im herkömmlichen Kfz . . . . . 188

6.6.6 Drehstrom-Generator mit Erreger-Dioden und Regler . . . . . 189

6.6.7 Hochvolt-Generator im Fahrzeug . . . . . 190

6.6.8 Gleichrichten als erste Aufgabe des Inverters in elektrisch angetriebenen Kfz . . . . . 191



Inhalt

**7 Elektrische Energie speichern ..... 192**

**7.1 Die Bleibatterie als Bordnetz-Spannungsquelle im Fahrzeug ..... 192**

- 7.1.1 Unterschied zwischen einer galvanischen Zelle und einem Akku ..... 192
- 7.1.2 Aufbau einer herkömmlichen Starterbatterie (Akkumulator) ..... 192
- 7.1.3 Lade- und Entladevorgänge in einem Blei-Akku ..... 194
- 7.1.4 Blei-Akkus ... und die Anwendung im Kraftfahrzeug ..... 196

**7.2 Nickel-Cadmium-Batterie (NiCd) ..... 197**

**7.3 NiMH-Akku ... und die Anwendung in elektrisch angetriebenen Kfz ..... 198**

**7.4 Lithium-Technik für HV-Batterien ..... 201**

- 7.4.1 Aufbau und Funktion Li-Ionen-Akku ..... 201
- 7.4.2 Bauformen Li-Ionen-Akkus ..... 202
- 7.4.3 Zell-Fertigung ..... 204
- 7.4.4 Begriffserklärungen bei Li-Ionen Batterien ..... 207
- 7.4.5 Alterung Li-Ionen-Akku ..... 208
- 7.4.6 Arbeitsbereich Li-Ionen-Zelle ..... 210
- 7.4.7 Lebensdauer von Li-Ionen-Zellen ..... 211
- 7.4.8 Unterschiedliche Elektroden-Materialien für Li-Ionen-Zellen ..... 213
- 7.4.9 Feststoffbatterien mit Li-Ionen-Technik ..... 215
- 7.4.10 Sicherheitskonzepte für HV-Batterien mit Li-Ionen-Technik ..... 216
- 7.4.11 Aufbau einer HV-Batterie ..... 219
- 7.4.12 Zell-Balancing ..... 221
- 7.4.13 Batterie-Bauformen/-Größen ..... 222
- 7.4.14 Zusammenfassung Li-Ion-Batterien ..... 224
- 7.4.15 Was ist bei Unfällen von HV-Fahrzeugen mit Li-Ion-Batterien zu beachten? ... 224
- 7.4.16 Transport und Lagerung von Li-Ionen-Batterien ..... 226
- 7.4.17 Reparatur und Recycling von Li-Ionen-Batterien ..... 229

**7.5 HV-Batterien im Einsatz ..... 232**

- 7.5.1 Kühlung der NiMH- und Li-Ion-Hochvolt-Batterien ..... 232
- 7.5.2 Rechenaufgabe zu HV-Batterien zur Verdeutlichung der Zusammenhänge ... 236

**7.6 Der Kondensator als Ladungs- und Energiespeicher ..... 240**

- 7.6.1 Rechenaufgaben zum Kondensator ..... 241
- 7.6.2 Lade- und Entladekurve des Kondensators mit dem Oszilloskop darstellen ... 244
- 7.6.3 Anwendungsbeispiel Kondensator im Kfz: Sound-Anlage ..... 245
- 7.6.4 Doppelschicht-Kondensatoren im Kfz ..... 246
- 7.6.5 Wozu werden Kondensatoren in E-Antrieben von Kraftfahrzeugen benötigt? .. 249
- 7.6.6 Kondensator zum Glätten von Mischspannungen (Laborversuch) ..... 249
- 7.6.7 Der Kondensator im Zwischenkreis des Inverters ..... 252

**8 Elektrische Ströme elektromagnetisch schalten (Relais und Schütz) ..... 255**

**8.1 Magnetismus ..... 255**

**8.2 Drehzahl- und Rotorlagensensorik ..... 257**

**8.3 Rotoren mit Dauermagneten ..... 259**

**8.4 Elektromagnetismus ..... 260**

**8.5 Wirkung von Eisen im Magnetfeld ..... 262**

**8.6 Elektromagnetisches Relais ..... 265**

**8.7 Schütze in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen ..... 266**



Inhalt

---

**8.8 Weitere Sicherheits-Relais/Schütze sowie Entladewiderstände in E-Fahrzeugen . . . . . 274**

**9 AC/DC-, DC/AC- und DC/DC-Wandler im HV-Fahrzeug . . . . . 277**

**9.1 DC/DC-Wandler für die Bordnetz-Spannungsversorgung des HV-Fahrzeugs . . . . . 277**

9.1.1 Spannungserzeugung durch Induktion der Ruhe (Trafo-Prinzip) . . . . . 278  
 9.1.2 Der Transformator an Gleichspannung (DC) . . . . . 279  
 9.1.3 Technische Ausführung der DC/DC-Wandler mit Mittelanzapfung des Trafos . . 280  
 9.1.4 Blockschaltbild eines Inverters im Kfz (einschließlich DC/DC-Wandler) . . . . . 281



**9.2 DC/DC-Wandler im Eingang des Inverters . . . . . 283**

9.2.1 Aufbau und Funktion eines Hochsetzers (Ladepumpe, Aufwärtswandler) . . . . . 284  
 9.2.2 Aufbau und Funktion eines Tiefsetzers (Abwärtswandler) . . . . . 285  
 9.2.3 Gesamtschaltung des DC/DC-Wandlers im Eingang des Inverters . . . . . 286

**9.3 DC/AC- und AC/DC-Wandler bzw. Wechsel- und Gleichrichter des HV-Fahrzeugs . . . . . 287**

9.3.1 Prinzipielle Wechselrichtung des DC/AC-Wandlers einer Phase . . . . . 288  
 9.3.2 Prinzipielle Wechselrichtung für die drei Phasen eines Drehstrommotors . . . . . 289  
 9.3.3 Prinzipielle Erzeugung eines sinusförmigen Stromverlaufs im Inverter . . . . . 291  
 9.3.4 Der Wechselrichter als Hochsetzer . . . . . 294

**9.4 AC/DC-Wandler im Ladegerät des HV-Fahrzeugs . . . . . 295**

9.4.1 Einphasiges Laden . . . . . 296  
 9.4.2 Zweiphasiges Laden . . . . . 299  
 9.4.3 Dreiphasiges Laden . . . . . 300  
 9.4.4 Dreiphasiges Laden an 400 V am Beispiel des Chameleon-Laders des Renault ZOE . . . . . 301

**9.5 HV-Booster . . . . . 305**

**10 Drehstrom-Maschine als Antriebsmotor . . . . . 309**

**10.1 Das Drehfeld aus dem öffentlichen Netz . . . . . 309**

**10.2 Entstehung der Drehbewegung in einem Drehstrommotor . . . . . 310**

**10.3 Prinzip des Synchron-Drehstrommotors . . . . . 311**

**10.4 Einsatzbeispiele für Synchron-Motoren in HV-Fahrzeugen . . . . . 317**

**10.5 Asynchron-Drehstrommotor . . . . . 324**

**10.6 Vergleich von Synchron- und Asynchron-Maschine als scheibenförmiger Motor-Generator für Mild-Hybrid-Anwendungen . . . . . 326**

**10.7 Kennlinien und Laufverhalten von drehzahl- und lastgesteuerten Drehstrommotoren im Kraftfahrzeug . . . . . 327**

**10.8 Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  bei Drehstrommotoren . . . . . 334**

**10.9 Asynchron-Motor im E-Fahrzeug . . . . . 334**



**11 Gleichstrommotor . . . . . 337**

**11.1 Arbeitsprinzip des Gleichstrommotors . . . . . 337**

**11.2 Aufbau und Funktion des Gleichstrommotors . . . . . 339**

**11.3 Elektro-Motorische Gegenkraft (EMG) . . . . . 342**

**11.4 Bauarten von Gleichstrommotoren . . . . . 343**



X

Inhalt

<b>11.5</b>	<b>Drehzahlregelung</b> .....	<b>344</b>
<b>11.6</b>	<b>Gleichstromsteller durch Antakten (PWM und Tastverhältnis)</b> .....	<b>345</b>
<b>11.7</b>	<b>Gleichstromsteller im Elektrofahrzeug</b> .....	<b>347</b>
<b>11.8</b>	<b>Freilauf-Diode (in HV-Schaltungen)</b> .....	<b>348</b>
<b>11.9</b>	<b>Bürstenlose Gleichstrommotoren (BLDC)</b> .....	<b>349</b>
<b>11.10</b>	<b>Der BLDC-Motor als Antriebsmotor in E-Fahrzeugen</b> .....	<b>352</b>
<b>12</b>	<b>HV-Leitungen, Verbindungssysteme und Stecker</b> .....	<b>353</b>
<b>12.1</b>	<b>Leitungen, besondere Spezifikationen für HV-Kabel</b> .....	<b>353</b>
<b>12.2</b>	<b>Schutz für HV-Leitungen</b> .....	<b>355</b>
<b>12.3</b>	<b>Verlegung von HV-Leitungen</b> .....	<b>359</b>
<b>12.4</b>	<b>Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) für HV-Kabel</b> .....	<b>360</b>
<b>12.5</b>	<b>Verbindungssysteme für HV-Kabel</b> .....	<b>363</b>
<b>13</b>	<b>Isolationsüberwachung</b> .....	<b>369</b>
<b>13.1</b>	<b>Prinzip der Überwachung und ECE R 100</b> .....	<b>369</b>
<b>13.2</b>	<b>Überwachung mit zwei Reaktionsschwellen</b> .....	<b>370</b>
<b>13.3</b>	<b>Veränderlicher Isolationswiderstand im HV-System</b> .....	<b>371</b>
<b>13.4</b>	<b>Funktionsprinzip des Iso-Wächters</b> .....	<b>374</b>
<b>13.5</b>	<b>Auswirkung eines 1. Fehlers im HV-Netz des Fahrzeugs mit Iso-Wächter</b> .....	<b>376</b>
<b>14</b>	<b>Potenzialausgleich als Schutzmaßnahme im E-Fahrzeug</b> .....	<b>378</b>
<b>14.1</b>	<b>Aufgabe des Potenzialausgleichs</b> .....	<b>378</b>
<b>14.2</b>	<b>Beispiele zur Ausführung vom Potenzialausgleich</b> .....	<b>381</b>
<b>14.3</b>	<b>Zusätzlicher Potenzialausgleich durch Abschirmung</b> .....	<b>382</b>
<b>14.4</b>	<b>Auswirkung eines 2. Fehlers im IT-Netz der HV-Anlage des Fahrzeugs</b> ..	<b>384</b>
<b>14.5</b>	<b>HV-Leitungen mit EMV-Verschraubungen und Massebänder für Potenzialausgleich herstellen</b> .....	<b>386</b>
<b>15</b>	<b>Ladetechnik</b> .....	<b>401</b>
<b>15.1</b>	<b>IEC-Normen – Sicherheitsvorschriften</b> .....	<b>401</b>
<b>15.1.1</b>	DIN EN 62196-1 (VDE 0623-5-1):2015-06 Allgemeine Anforderungen für konduktives Laden .....	402
<b>15.1.2</b>	DIN EN 62196-2 (VDE 0623-5-2):2020-02 Anforderungen und Maße für Kompatibilität beim AC-Laden .....	410
<b>15.1.3</b>	DIN EN 62196-3 (VDE 0623-5-3):2015-05: kombinierte Fahrzeugkupplungen und -stecker .....	414
<b>15.1.4</b>	DIN EN IEC 61851-1 (VDE 0122-1):2019-12 Kommunikation für konduktive Ladesysteme für E-Kfz. ....	416
<b>15.2</b>	<b>Lademodi, Ladeleistungen und Lade-Infrastruktur</b> .....	<b>424</b>
<b>15.2.1</b>	Lademodi .....	424
<b>15.2.2</b>	Lade-Leistung .....	424
<b>15.2.3</b>	Schaltungsbeispiel für ein Ladegerät in einem Smart ED II .....	428
<b>15.2.4</b>	Steckvorrichtungen und Ladeströme .....	430



Inhalt

---

15.2.5	Adapter für Ladestecker. . . . .	438
15.2.6	Wallboxen. . . . .	438
15.2.7	Ladesäulen. . . . .	439
15.2.8	Transportable DC-Großlader . . . . .	444
15.2.9	DC-Ladestationen mit Pantograf . . . . .	444
15.2.10	Laden von Fahrzeug-Flotten . . . . .	447
15.2.11	Streckenladen mit Pantograf . . . . .	448
15.2.12	Laden bezahlen an öffentlichen Ladesäulen . . . . .	449
<b>15.3</b>	<b>Laden und Kommunikation mit Ladeinfrastruktur in der Praxis . . . . .</b>	<b>450</b>
15.3.1	Beschreibung des Ladeprüfadapters . . . . .	450
15.3.2	Prüfen der Ladespannung . . . . .	453
15.3.3	Prüfen des Ladestroms . . . . .	456
15.3.4	Prüfen der Ladekommunikation. . . . .	459
15.3.5	Isolationsprüfung der Ladeeinrichtung mithilfe des Prüfadapters. . . . .	471
15.3.6	Prüfung der Ladestecker-Verriegelung . . . . .	473
<b>16</b>	<b>Werkstatt-Arbeiten und Diagnose. . . . .</b>	<b>476</b>
<b>16.1</b>	<b>Diagnose mit dem Werkstatt-Tester – keine Freischaltung erforderlich. . . . .</b>	<b>476</b>
<b>16.2</b>	<b>Isolationswiderstand messen . . . . .</b>	<b>477</b>
<b>16.3</b>	<b>HV-Spannung prüfen. . . . .</b>	<b>481</b>
<b>16.4</b>	<b>HV-Spannung herstellerspezifisch prüfen . . . . .</b>	<b>481</b>
<b>16.5</b>	<b>Messung des Potenzialausgleichwiderstands. . . . .</b>	<b>482</b>
<b>16.6</b>	<b>Herstellerunabhängige Testgeräte mit Dokumentation . . . . .</b>	<b>484</b>
<b>16.7</b>	<b>Herstellerspezifische Testgeräte . . . . .</b>	<b>486</b>
<b>16.8</b>	<b>Mechanische Austauscharbeiten von Hochvolt-Bauteilen. . . . .</b>	<b>488</b>
<b>17</b>	<b>Hochvolt im Nutzfahrzeug . . . . .</b>	<b>495</b>
<b>17.1</b>	<b>Elektrische Klein-Lkw am Beispiel eSprinter. . . . .</b>	<b>498</b>
<b>17.2</b>	<b>Elektrische mittelschwere Verteiler-Lkw am Beispiel eActros . . . . .</b>	<b>500</b>
17.2.1	eActros Gen. 1 . . . . .	500
17.2.2	Funktion der Bremswiderstände am Beispiel des HV-Bordnetzes eines eActros Gen. 1 . . . . .	504
17.2.3	Das HV-Netz des eActros Gen. 1. . . . .	506
17.2.4	eActros Gen. 2 . . . . .	507
17.2.5	Das HV-Netz des eActros Gen. 2. . . . .	512
17.2.6	eActros und Aufbau-Varianten. . . . .	513
17.2.7	Frightliner eCascadia . . . . .	514
<b>17.3</b>	<b>Beispiele elektrisch angetriebener Lkw von Scania . . . . .</b>	<b>515</b>
17.3.1	Hybrid-Lkw am Beispiel des Scania P bzw. G 320 Hybrid . . . . .	515
17.3.2	Hybrid-Lkw mit Pantograf am Beispiel des Scania R 450 Hybrid. . . . .	516
17.3.3	Rein elektrischer Lkw Scania 45 R oder S. . . . .	518
<b>17.4</b>	<b>Elektrisch angetriebener Omnibus am Beispiel eCitaro von EvoBus . . . . .</b>	<b>519</b>
17.4.1	Herstellung eines eCitaro. . . . .	520
17.4.2	Varianten des eCitaro. . . . .	522
17.4.3	Tausch eines Stromsensors in der HV-Batterie eines eCitaro Hybrids . . . . .	523
<b>17.5</b>	<b>Lkw umrüsten mit HV-Elektroantrieb . . . . .</b>	<b>525</b>
17.5.1	Umrüstprojekt ELIAS mit 44-t-Sattelzugmaschine von MAN . . . . .	526



Inhalt

17.5.2	Umrüstung einer Sattelzugmaschine von IVECO durch das Unternehmen EFORCE .....	526	
<b>18</b>	<b>Hochvolt im Motorrad.....</b>	<b>528</b>	
<b>18.1</b>	<b>Beispiel Harley Davidson LiveWire .....</b>	<b>529</b>	
<b>18.2</b>	<b>Beispiel BMW Elektroroller CE 04 .....</b>	<b>538</b>	
<b>18.3</b>	<b>Beispiel Horwin CR6 Pro.....</b>	<b>544</b>	
<b>19</b>	<b>Hochvolt in Flurförder- und Schienen-Fahrzeugen.....</b>	<b>550</b>	
<b>19.1</b>	<b>Hochvolt in Flurförder-Fahrzeugen .....</b>	<b>550</b>	
19.1.1	Beispiel Flurförder-Fahrzeuge der Unternehmen MAFI und Trepel.....	554	
<b>19.2</b>	<b>Hochvolt in Schienen-Fahrzeugen.....</b>	<b>559</b>	
19.2.1	Beispiel Hochvolt in Straßenbahnen .....	559	
19.2.2	Beispiel Hochvolt in Zügen .....	561	
<b>20</b>	<b>Beschreibung der Technik und des Freischaltens anhand von Beispielen konkreter Serienfahrzeuge .....</b>	<b>566</b>	
<b>20.1</b>	<b>Beispiel „Plug-In Hybrid“: Mercedes GLC 350e Plug-In Hybrid.....</b>	<b>566</b>	
20.1.1	Aufbau des Systems mit Einbindung in Kfz .....	567	
20.1.2	Bauteile .....	568	
20.1.3	Funktionen .....	575	
20.1.4	Sicherheitsphilosophie des Herstellers:.....	578	
20.1.5	Facelift 300de 4MATIC Plug-In Hybrid.....	583	
<b>20.2</b>	<b>Beispiel „Voll-Hybrid“: Toyota Prius.....</b>	<b>585</b>	
20.2.1	Der Toyota Hybridantrieb .....	586	
20.2.2	Erläuterung zum „Voll-Hybrid“ System .....	586	
20.2.3	Hauptkomponente Ottomotor .....	589	
20.2.4	Hauptkomponente Hybrid-Antriebseinheit .....	590	
20.2.5	Antrieb und Fahrsituationen .....	592	
20.2.6	Nomografisches Diagramm .....	598	
20.2.7	12-V-Spannungsversorgung und Aufbau des Hochvolt-Bordnetzes.....	599	
20.2.8	Wozu wird ein Inverter benötigt? .....	602	
20.2.9	Prius Plug-In Hybrid ab 2017 .....	606	
20.2.10	Sicherheits-Philosophie des Herstellers .....	607	
20.2.11	Sicherheitsmaßnahmen beim Arbeiten am Hochvoltsystem .....	608	
<b>20.3</b>	<b>Beispiel „Elektrofahrzeug“: BMW i3 .....</b>	<b>611</b>	
20.3.1	Einbauorte der Hochvolt-Komponenten .....	612	
20.3.2	Technische Daten: E-Maschine, HV-Batterie, Verbrennungsmotor und Fahrleistungen.....	613	
20.3.3	Aufbau des Antriebssystems .....	613	
20.3.4	Bezeichnung der Elektromaschinen nach GS90023 .....	614	
20.3.5	Prinzipielle Funktionsweise der elektrischen Maschine.....	614	
20.3.6	Leistungs- und Drehmoment-Daten der E-Maschine .....	615	
20.3.7	Aufbau der E-Maschine .....	616	
20.3.8	Elektrische Schnittstellen zwischen Leistungselektronik und E-Maschine.....	617	
20.3.9	Sensoren .....	617	

Inhalt

---

20.3.10 Aufbau und Funktion des Getriebes .....	618
20.3.11 Elektromaschinen-Elektronik EME .....	620
20.3.12 Merkmale und Aufbau der Hochvolt-Batterie .....	624
20.3.13 Elektrischer Kältemittelkompressor EKK .....	629
20.3.14 Elektrische Heizung .....	629
20.3.15 Range Extender REX .....	630
20.3.16 Sicherheitsmaßnahmen durch Hochvolt-Kontaktüberwachung .....	632
20.3.17 Fahrzeug spannungsfrei schalten .....	633
20.3.18 Aufstarten des HV-Systems (bei jedem Fahrtantritt) .....	633
<b>20.4 Beispiel „Brennstoffzellen-Fahrzeug“: Hyundai Nexö .....</b>	<b>634</b>
20.4.1 Geschichtliche Entwicklung .....	634
20.4.2 Brennstoffzellensysteme .....	635
20.4.3 Funktionsprinzip der PEM-Brennstoffzelle .....	637
20.4.4 Aufbau eines Brennstoffzellenstacks .....	638
20.4.5 Schematischer Aufbau eines BZ-Fahrzeuges .....	639
20.4.6 Vorgänge im Fahrbetrieb .....	641
20.4.7 Wasserstoff-Speichersysteme .....	642
20.4.8 Wirkungsgrade .....	647
<b>Anhang .....</b>	<b>648</b>
<b>Bildquellenverzeichnis .....</b>	<b>648</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>650</b>





## 2 Grundsätzlicher Aufbau von HV-Fahrzeugen

Das 1. Bild stellt den typischen Aufbau eines Hybrid-Fahrzeuges (VW Touareg Hybrid) mit seinen Hochvolt-Leitungen und den dazugehörigen Komponenten vor.

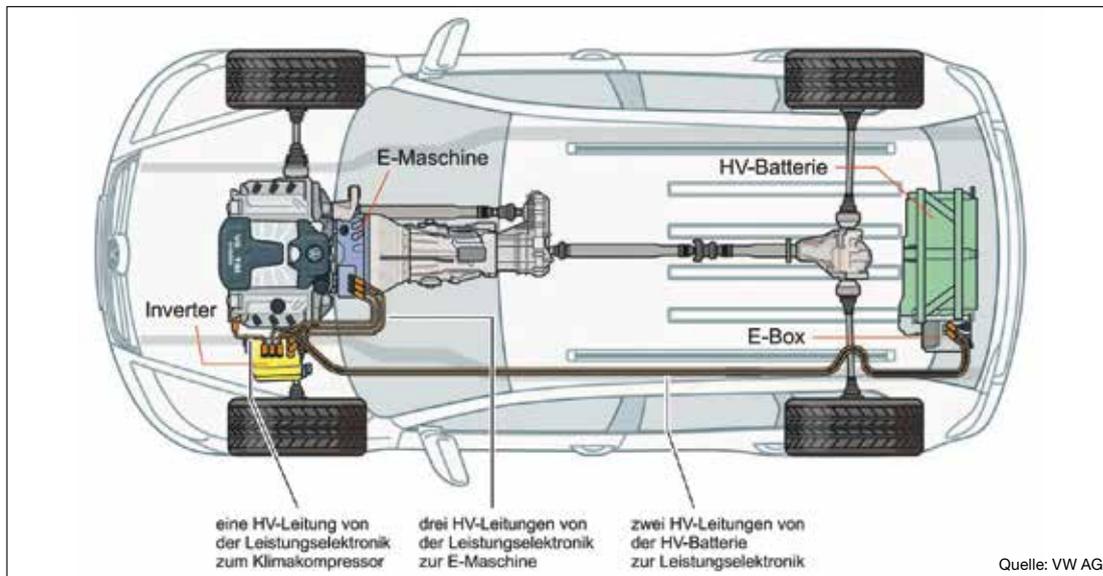


Bild 01: VW Touareg Hybrid schematisch

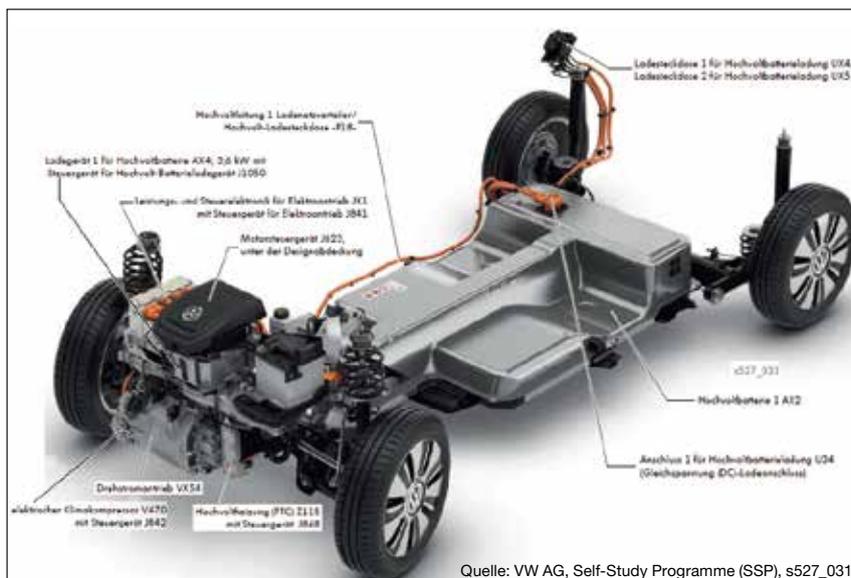


Bild 02: VW e-up ohne Karosserie, aber mit Fahrwerk, HV-Bauteilen und Leitungen

Das 2. Bild zeigt einen Pkw als reines Elektro-Fahrzeug (VW e-up).

In beiden Schemata sieht man gut den Verlauf der HV-Leitungen von der HV-Batterie (grün) mit E-Box zum Inverter (gelb) und zur E-Maschine (blau) mit den entsprechenden Steckverbindungen. Beim e-up kommen Ladesteckdose und Leitungen sowie das Ladegerät und die HV-PTC-Heizung dazu.



Fachwissen

Einleitung

Das 3. Bild verdeutlicht den Aufbau eines rein elektrischen Lkw, eines Mercedes eActros. Es sind die wichtigsten elektrischen Komponenten benannt, aber keine HV-Leitungen dargestellt.

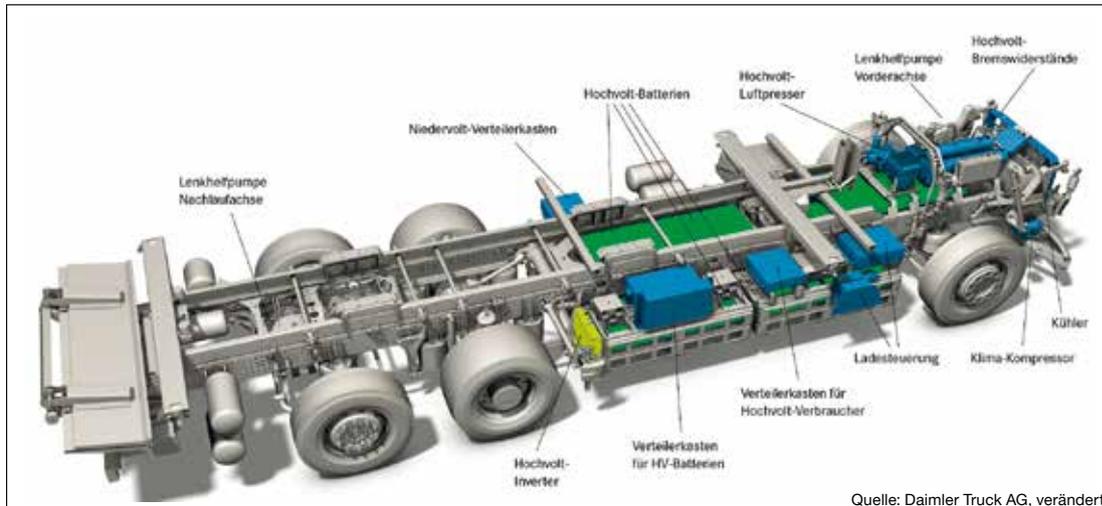


Bild 03: prinzipieller Aufbau des Mercedes eActros Generation 1



Bild 04: eActros in der gleichen Blickrichtung wie Bild 03. Hier kann man gut die HV-Leitungen und Kabel-Verschraubungen an den HV-Bauteilen erkennen

Daraus erkennt man, dass alle HV-Fahrzeuge grundsätzlich den gleichen Aufbau und die gleichen Grundkomponenten – HV-Batterie, Inverter, HV-E-Motor/Generator und HV-Klimakompressor – haben. Dazu kommen beim Hybrid und Range Extender der Verbrennungsmotor und beim BEV das HV-Ladegerät und die HV-Heizung. Im Inverter sitzt häufig auch ein DC/DC-Wandler, der die HV-Spannung anhebt oder absenkt, um z. B. das 12/24-V-Bordnetz mit Spannung zu versorgen. Aus Platzgründen kann der DC/DC-Wandler auch ein eigenes HV-Bauteil sein. Alle HV-Komponenten sind mit HV-Leitungen verbunden, die zur Erkennung und Gefahren-Kennzeichnung leuchtend orange ausgeführt sind.

2.1 Die typischen Hochvolt-Bauteile

Fachwissen



## 2.1 Die typischen Hochvolt-Bauteile

### ■ Kennzeichnung

Alle HV-Bauteile, bis auf Leitungen und Steckverbindungen (leuchtend orange), sind mit dem nebenstehenden Warntafel gekennzeichnet. Ausländische Hersteller haben zumindest das Warndreieck mit dem Hochspannungszeichen auf den Bauteilen.



Bild 05: vorgeschriebene Warntafel

### ■ HV-Batterie

So gut wie alle HV-Fahrzeuge haben einen elektro-chemischen Energiespeicher, die einen nur als Puffer und die anderen – je nach rein elektrischer Reichweite – mehr oder weniger große HV-Batterien. Nutzfahrzeuge können mehrere HV-Batterien haben. Größere Batterien sind innen modulhaft aufgebaut.

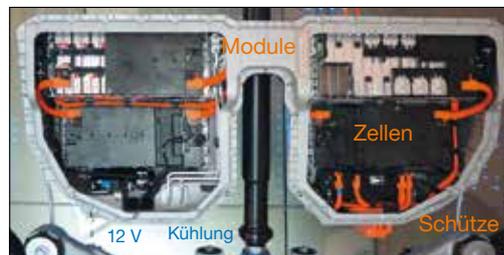


Bild 06: HV-Batterie BMW Plug-In-Hybride

### ■ Inverter (Wechselrichter DC/AC und AC/DC)

Jenach Anzahl der elektrischen Drehstrom-Motoren eines HV-Fahrzeuges hat dieses Fahrzeug mindestens einen oder mehrere Wechselrichter, die im Fahrbetrieb die Gleichspannung der HV-Batterie in eine Dreiphasen-Wechselspannung (AC) für den oder die Antriebsmotor/en Drehzahl und Last abhängig umwandeln. Ist das Fahrzeug im Bremsbetrieb, muss der Inverter den Strom der E-Maschine, die jetzt als Generator läuft, wieder zurück in Gleichspannung (DC) umwandeln. Diesen Vorgang nennt man Rekuperieren oder regeneratives Bremsen.



Bild 07: Inverter VW Passat GTE

### ■ DC/DC-Wandler

Der DC/DC-Wandler übernimmt in HV-Fahrzeugen die Aufgabe des herkömmlichen Drehstromgenerators, der das 12- bzw. 24-V-Bordnetz des Fahrzeugs mit Spannung versorgt. Die große E-Maschine des Fahrzeugs mit z. B. 400 V erzeugt mit einem viel höheren Wirkungsgrad als ein herkömmlicher Generator die Spannungs- und Stromversorgung für das gesamte Fahrzeug und lädt die HV-Batterie. Der DC/DC-Wandler transformiert diese hohe Gleichspannung galvanisch getrennt auf das gewünschte Bordspannungs-Niveau, versorgt die 12/24-V-Verbraucher und lädt die 12/24-V-Batterie. Der DC/DC-Wandler kann mit im Inverter sitzen oder ein eigenes Gerät sein, wie dargestellt.



Bild 08: DC/DC-Wandler Mercedes 350e Plug-In Hybrid



Fachwissen

## 2.1 Die typischen Hochvolt-Bauteile

### ■ E-Maschine

Kern des elektrischen Antriebs ist die E-Maschine. Das Fahrzeug kann als Hybrid kleinere flache Drehstrommotoren oder als rein elektrisches Fahrzeug große tiefe Maschinen mit großer Leistung – wie abgebildet – besitzen. Manche Fahrzeuge haben mehrere Antriebsmotoren an einer Achse oder an mehreren Achsen (z. B. für Allrad-Antrieb) oder auch in den Rädern als Radnaben-Antrieb. Alle diese E-Maschinen können als Motor beim Fahren, aber auch als Generator beim Bremsen arbeiten.

Eine E-Maschine mit 100 kW Leistung kann mit bis zu 100 kW antreiben, aber auch eine Bremsleistung von 100 kW erzeugen und damit die HV-Batterie laden. Diese Motoren werden je nach Philosophie des Herstellers als Synchron- oder als Asynchronmaschine hergestellt.

### ■ Ladegerät (AC/DC-Wandler)

Fast alle Plug-In-Hybride und Elektro-HV-Fahrzeuge benötigen ein Ladegerät, um die HV-Batterie an Ladesäule, Wallbox oder Steckdose aufladen zu können. Dieses Ladegerät sitzt im Fahrzeug und wandelt die Wechselspannung (AC) des öffentlichen Netzes in eine Gleichspannung (DC) zum Laden der HV-Batterie um. Grundausstattung bei den meisten HV-Fahrzeugen ist eine Leistung von 3,7 kW (das entspricht einem einphasigen Ladestrom von 16 A).

Das nebenstehende Ladegerät stammt aus einem BMW i3, der eine Ausstattung für AC-Laden und DC-Schnellladen besitzt. Dieses Ladegerät kann auch nur 3,7 kW AC gleichrichten, jedoch kann der Inverter (EME) des BMW i3 weitere 3,7 kW Ladeleistung bereitstellen, sodass das Fahrzeug insgesamt mit 7,4 kW (32 A) einphasig geladen werden kann.

### ■ Ladesteckdose

Jedes Elektro- oder Plug-In-Hybrid-Fahrzeug hat eine Ladesteckdose. Je nach Alter des Fahrzeugs oder je nachdem in welches außereuropäische Land das Fahrzeug exportiert wird, kann die Ladesteckdose unterschiedlich aussehen. Auch für Schnellladen gibt es Varianten (siehe Kapitel „Ladetechnik“). Die jetzt gültige Norm des Typ-2-Steckers schränkt die Vielfalt ein und erleichtert das Handling.



Bild 09: 100-kW-Asynchron-Drehstrom-Maschine eines Hyundai ix35 Fuel Cell

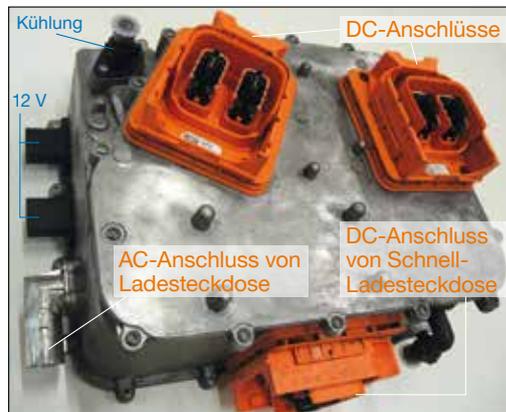


Bild 10: Komfort-Lade-Elektronik (KLE) eines BMW i3 mit Combo-Laden 7,4 kW AC-Ladeleistung



Bild 11: Ladesteckdose (AC) Typ 2 eines Mercedes S 500 Plug-In Hybrid: einphasiges Laden 3,7 kW

## 2.1 Die typischen Hochvolt-Bauteile

Fachwissen



### ■ Klimakompressor

Alle Elektrofahrzeuge und alle Hybride, die den Verbrenner abschalten können, benötigen einen elektrisch angetriebenen Kältemittelkompressor, da für den Antrieb ein Riementrieb nicht zur Verfügung steht.

Häufig muss der Klimakompressor auch für die Kühlung von HV-Bauteilen wie z. B. der HV-Batterie sorgen.



Bild 12: Sanden HV-Klimakompressor eines BMW i8

### ■ PTC-Heizer

Wenn das Fahrzeug keinen Verbrennungsmotor hat, bei dem Abwärme anfällt, muss das Fahrzeug elektrisch beheizt werden. Normale Pkw benötigen etwa 6 kW Heizleistung. In dieser Größenordnung wird hierzu das Hochvolt-Bordnetz zur Spannungsversorgung herangezogen.



Bild 13: PTC-Heizer eines BMW i3

### ■ HV-Leitungen

HV-Leitungen haben meistens einen großen Querschnitt. Der Aufbau ist aus dem Bild erkenntlich. HV-Leitungen sind (fast) immer geschirmt und haben eine orange Warnfarbe.

(Der VW ID3 etwa hat auch ungeschirmte HV-Leitungen)



Bild 14: typische HV-Leitung mit Abschirmung

### ■ Steckverbindungen

Steckverbindungen von HV-Leitungen sind fast immer orange. Gleichgültig ob runde oder eckige Form: sie werden verriegelt, damit sie sich nicht von selbst lösen.



Bild 15: HV-Leitung mit Rundstecker und HV-Interlock für einen Porsche Cayenne Inverter

### ■ HV-Interlock

Alle HV-Steckverbindungen oder Gehäusedeckel von HV-Bauteilen, die man zu Montagezwecken öffnen kann, sind mit Interlock-Kontakten ausgestattet. Im Falle eines Regel widrigen Abziehens eines Steckers oder Öffnens eines Deckels bei „Zündung an“ wird sofort die HV-Spannung des Fahrzeugs abgeschaltet, damit niemand zu Schaden kommt.

Für diese HV-Interlock-Leitung (Mercedes) gibt es je nach Hersteller andere Namen: Pilotlinie (VW), Sicherheitslinie, Hochvolt-Kontakt-Überwachung (BMW).



Bild 16: HV-Drehstrom-Steckverbinder am Inverter eines Renault Kangoo Z.E. oder ZOE



Fachwissen

## 2.1 Die typischen Hochvolt-Bauteile

### ■ Potenzial-Ausgleich

Alle metallischen HV-Gehäuse sind über massive Masseleitungen mit der Karosserie und damit untereinander verbunden. Dies ist eine Schutzvorkehrung, damit die Bauteile bei Fehlern im HV-Netz kein unterschiedliches Spannungspotenzial annehmen können.

### ■ Hochvolt-Abschalt-Vorrichtung

Dieser Hauptschalter wird auch Freischaltstecker oder Service Disconnect genannt und ist vom Gesetzgeber in jedem HV-Fahrzeug vorgeschrieben.

Es gibt unterschiedliche Varianten:

- Auf der HV-Seite trennt der Stecker die Reihenschaltung innerhalb der HV-Batterie.  
→ sehr sichere Abschaltung!
- Auf der Niedervolt-Seite trennt der grüne Stecker die Plus-Versorgung der Schütze sowie die Interlock-Leitung (IL). Durch die IL-Trennung wird die Minus-Versorgung von den Schützen weg genommen. → nicht so sicher!

Auf den unteren grünen Service Disconnect haben sich alle deutschen Hersteller in den letzten Jahren geeinigt, sodass VW, Audi, Skoda, Porsche, Mercedes, BMW, ..., alle den gleichen Stecker verwenden.

Im Nutzfahrzeug-Bereich kann das auch ein „Not-Aus“ sein.

### ■ Zusammenfassung und Vorausschau

In diesem Kapitel wurde eine Übersicht des Aufbau und der wichtigsten Bauteile des HV-Systems an Beispielen unterschiedlicher Fahrzeuge erstellt.

In den folgenden Kapiteln werden diese Bauteile und ihre Funktion tiefergehend bearbeitet und die Sicherheitsmaßnahmen erklärt, die die Hersteller in diese Bauteile und das Gesamtsystem aufgrund gesetzlicher Vorgaben integriert haben. Dabei wird deutlich, dass alle Hersteller, zwar manchmal auf unterschiedlichen Wegen, das gleiche Ziel verfolgen: gute und fahrtüchtige eigensichere HV-Fahrzeuge zu bauen und die Mitarbeiter in Entwicklung und Service bei der Arbeit an diesen Fahrzeugen zu schützen.



Bild 17: Messing Potenzialverteiler zur Aufnahme der Masseleitungen unterschiedlicher HV-Geräte

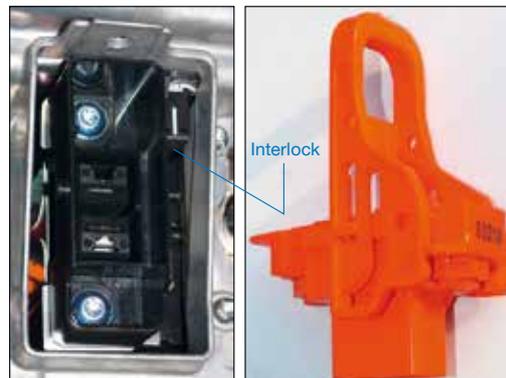


Bild 18: HV-Freischalt-Steckvorrichtung eines Audi Q5 oder Toyota Prius: links batterie-seitige (weibliche) Stecker-Aufnahme, rechts orangefarbener Brückenstecker



Bild 19: Niedervolt-Freischalt-Stecker eines VW Passat GTE, der mit einem Schloss gegen Wiedereinschalten gesichert ist.