



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kraftfahrzeugtechnik

Fachkunde Kraftfahrzeug Hochvolttechnik

1. Auflage

Bearbeitet von Gewerbelehrern, Ingenieuren und Meis tern

Lektorat: T. Gscheidle, Dipl.-Gwl., Studiendirektor , Filderstadt – Sindelfingen

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 22819

Autoren der Fachkunde Kraftfahrzeug Hochvolttechnik :

Gscheidle, Tobias	Dipl.-Gwl., Studiendirektor	Filderstadt – Sindelfingen
Hohmann, Berthold	Oberstudiendirektor	Eversberg
Lohuis, Rainer	Dipl.-Ingenieur, Oberstudienrat a. D.	Hückelhoven
Spring, Andreas Dr.	Dipl.-Ing., Studiendirektor	Starnberg – München

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat:

Tobias Gscheidle, Filderstadt – Sindelfingen

Bildbearbeitung:

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Wir danken dem Arbeitskreis der Fachkunde Elektrotechnik für seine freundliche Unterstützung.

Alle Angaben in diesem Buch erfolgten nach dem Standard der Technik. Alle Prüf-, Mess- oder Instandsetzungsarbeiten an einem konkreten Fahrzeug müssen nach Herstellervorschriften erfolgen. Der Nachvollzug der beschriebenen Arbeiten erfolgt auf eigene Gefahr. Haftungsansprüche gegen die Autoren oder den Verlag sind ausgeschlossen.

1. Auflage 2025

Druck 54321

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-2281-9

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de.

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2025 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten,
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfotos: Audi AG, Ingolstadt und BMW AG, München

Druck: LUC GmbH, 59379 Selm

VORWORT ZUR 1. AUFLAGE

Die Fachkunde Kraftfahrzeug Hochvolttechnik soll den Auszubildenden des Kraftfahrzeugwesens eine Hilfe beim Verstehen von technischen Vorgängen und Systemzusammenhängen sein. Mit diesem Buch kann das nötige theoretische Fachwissen für die praktischen handwerklichen Fertigkeiten erlernt werden. Die neuesten Normen wurden, soweit erforderlich, eingearbeitet.

Den Gesell/-innen, Meister/-innen und Techniker/-innen des Kraftfahrzeughandwerks sowie den Studierenden der Fahrzeugtechnik insbesondere mit dem Schwerpunkt Hochvoltfahrzeuge soll das Buch als Nachschlagewerk, zur Informationsbeschaffung und zur Ergänzung der fachlichen Kenntnisse dienen. Allen an der Kraftfahrzeugtechnik Interessierten soll das Werk eine Erweiterung des Fachwissens durch Selbststudium ermöglichen.

Das Fachbuch zur Kraftfahrzeug-Hochvolttechnik bietet einen umfassenden Überblick über die Elektromobilität. Von der Klassifizierung von Fahrzeugen mit Hochvoltantrieben bis zur Vertiefung in Batterietechnologien, elektrische Maschinen, Leistungs- und Hochvoltfahrzeugen, der speziellen Bremsen- und Hochvolt-Bordnetz, der Klimatisierung von Versorgung. Abschließend werden die Brennstoffzelle und die Motorradtechnik kurz beleuchtet. Diese umfassende Darstellung ermöglicht ein tiefgreifendes Verständnis für die zukunftsweisende Welt der Hochvolttechnik in der Fahrzeugindustrie.

Das Werk versteht sich als Ergänzung zur Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik, Europa-Nr. 20108.

Die Fachkunde Kraftfahrzeug Hochvolttechnik bildet mit den weiteren Medien der Fachbuchreihe des Verlages eine Einheit. Die auf der folgenden Seite aufgeführten Bücher sind so aufeinander abgestimmt, dass mit ihnen praxisorientierte Lernsituationen in den Lernfeldheften bearbeitet und gelöst werden können.

Besonderen Wert haben die Autoren auf die Verständlichkeit gelegt, unterstützt durch mehrfarbige Bilder, Skizzen und Tabellen. Zusätzlich können alle Bilder und Tabellen des Buchs im digitalen Medienregal EUROPATHEK online und offline abgerufen werden.

Das in enger Zusammenarbeit mit Handwerk und Industrie entstandene Werk wurde von einem Team pädagogisch erfahrener Berufsschullehrer, Ingenieuren und Meistern erstellt. Die Autoren und der Verlag sind für Anregungen und kritische Hinweise an

SimKfz EFA mit Simulationen, Animationen und Drag & Drop-Zuordnungsaufgaben vielfältigen digitalen Mehrwert. In den Bildern dieser Fachkunde sind die interaktiven Inhalte durch das SimKfz EFA-Symbol gekennzeichnet.

Unsere Online-Kurse (Kfz-Basiswissen und Kfz-Fachwissen uvm.) ermöglichen gezieltes Prüfungs-Training mit ständiger Rückmeldung über den individuellen Lernfortschritt. Mehr Informationen unter www.europa-lehrmittel.de/pruefungsdoc.

Ein herzliches Dankeschön geht an alle, die an der Entstehung dieses Werks beteiligt waren, sowie an die Unternehmen und Organisationen, die ihre Unterstützung mit Bildern und technischen Unterlagen zur Verfügung gestellt haben.

Im Herbst 2025

Die Autoren des Arbeitskreises Kfz-HV-Technik

Informationen beschaffen



berufstypische Probleme erfassen, bearbeiten, auswerten und lösen



Prüfungsvorbereitung:
Wissen sichern, Gelerntes wiederholen



Wissen vertiefen



Digitale Medien Fachbuchreihe Kraftfahrzeugtechnik



**EUROPA
THEK**

PRÜFUNGSDOC
EINFACH BESTEHEN

Digitale Bücher



- Die kompletten Fachbücher im virtuellen Medienregal jederzeit verfügbar

SimKfz EFA



- Mit Simulationen & Animationen in 2D und 3D
- Mit Drag & Drop-Funktionsbildern
- Rund 2500 Bilder der Fachbuchreihe Kfz-Technik

EUROPATHEK MACHT WISSEN MOBIL

Online-Kurse

- Digital aufbereitete Übungs- und Prüfungsaufgaben
- Zum Lernen, Wiederholen und Testen
- Ständige Rückmeldung über den Lernfortschritt

INHALT

1 EINFÜHRUNG IN DIE KRAFTFAHRZEUG-HOCHVOLTTECHNIK	9
1.1 Varianten elektrischer Antriebssysteme	11
1.2 Funktionen teilelektrischer Antriebssysteme	11
1.3 Teilelektrische Antriebe	13
1.3.1 Serielles Hybrid-System	14
1.3.2 Paralleles Hybrid-System	15
1.3.3 Leistungsverzweigtes Hybrid-System	15
1.4 Vollelektrische Antriebe	20
2 HOCHVOLT-BATTERIEN	21
2.1 Grundlagen der Speicherung elektrischer Energie	22
2.2 Bauarten von Hochvolt-Batterien	24
2.2.1 Nickel-Metall-Hydrid- Hochvolt-Batterie	25
2.2.2 Lithium-Ionen-Hochvolt- Batterie	26
2.2.3 Natrium-Ionen-Hochvolt- Batterie	34
2.2.4 Hochvolt-Batterien mit Feststoffelektrolyten	34
2.3 Lade- und Energie regelung von Hochvolt-Batterien	35
2.4 Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Hochvolt-Batterien	39
2.5 Lagerung und Transport von Hochvolt-Batterien	43
2.6 Recycling und Entsorgung von Hochvolt- Batterien	44
3 ELEKTRISCHE ANTRIEBSMOTOREN	45
3.1 Drehfeldmaschinen	45
3.1.1 Aufbau	45
3.1.2 Funktionsweise	46
3.2 Arten von Drehfeld maschinen	47
3.2.1 Asynchronmotor (Asynchronmaschine, ASM)	47
3.2.2 Permanenterregter Synchronmotor (Synchronmaschine, PSM)	48
3.2.3 Reluktanz-Synchronmotor mit innenliegenden Permanentmagneten (IPM synRM)	50
3.2.4 Fremderregter Synchronmotor (FSM)	52
3.2.5 Rotorlagesensor, Resolversensor	53
3.3 Antriebsarten	55
3.3.1 Einachsiger Zentralantrieb	55
3.3.2 Allradantrieb	55
3.3.3 Radhabenantrieb	55
3.4 Kühlung elektrischer Antriebsmotoren	56
3.4.1 Flüssigkeitskühlung	56
3.4.2 Öl Kühlung	57
3.5 Herstellung elektrischer Antriebsmotoren	57
3.5.1 Herstellungstechnologien von Statorn	57
3.5.2 Herstellung von Rotoren mit Permanentmagneten	59
3.5.3 Herstellung von Rotoren mit Erregerspulen	60
3.5.4 Montage der Rotorwelle	60
3.6 Getriebe in elektrischen Antriebs systemen	61
3.6.1 Einstufiges Getriebe für elektrische Antriebssysteme	61
3.6.2 Zweistufiges Getriebe für elektrische Antriebssysteme	61
3.6.3 Automatische Getriebe in Hybrid - antrieben	62
4 LEISTUNGSELEKTRONIK	63
4.1 Aufgaben der Leistungselektronik	63
4.2 Bauteile der Leistungselektronik	64
4.2.1 MOSFET	65
4.2.2 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	65
4.2.3 Kondensator	66
4.2.4 Spule/Transformator	67
4.3 DC/DC-Wandler für das Bordnetz (Konverter)	68
4.4 AC/DC-Wandler (Inverter)	70
4.4.1 Inverter-Prinzip, Ein-Phasen-Inverter	70
4.4.2 Inverter als 3-Phasen- Wechselrichter	71
4.5 DC/DC-Wandler im Inverter der E-Maschine	73
4.5.1 Hochsetzer (Aufwärtswandler, Ladepumpe)	73
4.5.2 Tiefsetzer (Abwärtswandler)	74
4.5.3 Hoch- und Tiefsetzer (Kombinierte Schaltung)	74

5 LADETECHNIK	75
5.1 Ladevorgang	75
5.2 Ladearten	77
5.2.1 Ladebetriebsarten	77
5.2.2 Ladebuchsen	79
5.2.3 Ladestecker und Ladeleistung	80
5.3 Wallboxentypen	81
5.4 Ladeverluste	83
5.5 Besondere Ladearten	84
5.5.1 Bidirektionales Laden	84
5.5.2 Induktives Laden	85
5.5.3 Megawatt-Charging-System	85
5.6 Ladekommunikation	86
5.6.1 Ladekommunikation AC-Laden	86
5.6.2 Ladekommunikation DC-Laden	89
5.7 Ladestecker verriegelung	90
5.8 Ladekennlinien	90
6 HOCHVOLT-BORDNETZ	91
6.1 Aufbau eines IT-Netzes	91
6.2 Ein-Fehler-Toleranz	92
6.3 Eigensicheres Fahrzeug	93
6.3.1 Anbringen von Warnhinweis - schildern auf HV-Bauteilen	94
6.3.2 Verwendung von Signal farben	94
6.3.3 Vollständige Basisisolierung aller HV-Komponenten	94
6.3.4 Aufbau als IT-Netz	94
6.3.5 Kurzschlussüberwachung	94
6.3.6 Ständige, automatisierte Überwachung des Isolationswiderstandes (Isowächter)	94
6.3.7 HV-Kontaktüberwachung durch eine Ringleitung	95
6.3.8 Entladen des Hochvolt- Bordnetzes	97
6.3.9 Abschaltung des HV-Bord netzes bei einem Unfall	98
6.3.10 Rettungstrennstelle	99
6.4 Spannungsebenen	99
6.5 Vorladung	101
7 KLIMATISIERUNG/THERMOMANAGEMENT	102
7.1 Beheizen der Fahrgastzelle	102
7.2 Klimatisierung der Fahrgastzelle	107
7.2.1 Elektrischer Klimakompressor	108
7.2.2 Kompressoröl für HV-Fahrzeuge	108
7.3 Kühlung der Antriebskomponenten	109
7.4 Temperierung der HV-Batterie	110
7.4.1 Luftkühlung	110
7.4.2 Kühlung der HV-Batterie mit Kältemittel	112
7.4.3 Kühlung der HV-Batterie mit Kühlmittel	112
7.5 Wärmepumpe	113
7.6 Thermomanagement	114
8 BREMSANLAGEN VON HV-FAHRZEUGEN	118
8.1 Modifikationen am Bremssystem von HV-Fahrzeugen	118
8.1.1 Bremsvorgang bei HV-Fahrzeugen	118
8.2 Elektrische Unterdruckpumpe	119
8.3 Elektromechanischer Bremskraft - verstärker	120
9 ARBEITEN AN HOCHVOLT-FAHRZEUGEN	121
9.1 Arbeiten an Hochvolt- Fahrzeugen	121
9.1.1 Gefahren des elektrischen Stroms beim Arbeiten am HV-Fahrzeug	122
9.1.2 Umgang mit defekten HV-Fahrzeugen	123
9.1.3 Betrieblicher Arbeitsplatz	124
9.2 Sicheres Arbeiten	126
9.2.1 Ringleitung	127
9.2.2 Wartungsstecker	127
9.2.3 HV-Leitungen	128
9.3 Qualifizierung	129
9.3.1 Sicherheitsregeln	130
9.3.2 Freischaltprotokoll	133
9.3.3 Wiederinbetriebnahme protokoll	134
9.4 Isolationsüberwachung/-messung	135
9.4.1 Isolationsmessgeräte	136
9.4.2 Isolationsfehler	139
9.5 Potenzialausgleich	143
9.5.1 Potenzialsausgleichs- Messgerät	144

9.5.2	Prüfung Potenzialausgleich	145	9.7.2	Werkzeuge	150
9.6	Service/Diagnose Thermomanagement am HV-Fahrzeug	146	9.7.3	Prüfung/Wartung der HV-Batterie	151
9.7	Arbeiten unter Spannung	148	9.7.4	Batteriezellentausch	154
9.7.1	Persönliche Schutz ausrüstung	149	9.8	Service am HV-Fahrzeug	156

10 ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG

10.1	Elektrische Energie erzeugung und Kraftwerkspark in Deutschland	157	10.4	Grundlagen der elektrischen Hausschlüsselung	168
10.1.1	Zusätzlicher Bedarf an elektrischer Energie für die Mobilität	158	10.5	Auslegung eines Stromkreises	172
10.2	Photovoltaik	159	10.6	PV-Anlagen konfigurationen	174
10.2.1	Photoeffekt und Funktionsprinzip	159	10.7	Auslegung und Installation einer Photovoltaik-Dachanlage für ein HV-Fahrzeug	175
10.2.2	Elektrische Beschreibung einer Photovoltaikzelle	160	10.8	Windkraftanlagen	177
10.2.3	Elektrische Beschreibung eines Photovoltaikmodul	161	10.8.1	Auftriebsläufer	177
10.2.4	Elektrische Beschreibung einer Photovoltaikanlage	163	10.8.2	Anlagenkonzepte	178
10.3	Netzanschluss von Photovoltaikanlagen an das Niederspannungsnetz	165	10.9	Netzanschluss von Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen an das Mittelspannungsnetz	179
10.3.1	Netzanschlussverfahren	165	10.9.1	Netzanschlussverfahren	179
10.3.2	Merkmale der Niederspannung und Netzrückwirkungen	165	10.9.2	Mittelspannung und Netzrückwirkungen	179

11 BRENNSTOFFZELLEN AN HV-FAHRZEUGEN

11.1	Brennstoffzellen	181	11.3	Ursachen für Leistungsreduzierungen	187
11.2	Betriebsmittelversorgung Brennstoffzellen	183	11.4	Sicheres Arbeiten an Wasserstoffsystemen	188
11.2.1	Wasserstoffspeichersystem	183	11.4.1	Gefährdungen	188
11.2.2	Wasserstoffversorgungssystem	185	11.4.2	Schutzmaßnahmen	188
11.2.3	Luftversorgungssystem	186	11.4.3	Qualifikationen für Arbeiten an Wasserstoffsystemen	189
11.2.4	Temperaturmanagementsystem	187			

12 FAHRZEUGVARIANTEN MIT HV-TECHNIK

12.1	Nutzfahrzeuge mit Elektroantrieb	190	12.2.2	Leistungselektronik	194
12.1.1	Fahrzeugmerkmale	190	12.2.3	E-Maschine	195
12.1.2	Ladeinfrastruktur	193	12.2.4	Ladeanschluss und On-Board-Lader	195
12.2	Motorräder mit Elektroantrieb	194	12.2.5	Isolationsüberwachung	195
12.2.1	HV-Batterie	194	12.2.6	Kennwerte weiterer E-Motorräder	195

Bildquellenverzeichnis	196
Sachwortverzeichnis	197
Abkürzungsverzeichnis	U3

1

EINFÜHRUNG IN DIE KRAFTFAHRZEUHGEOCHVOLTTECHNIK



Vollelektrische und teilelektrische Antriebe nutzen elektrische Energie für den Fahrzeugantrieb mit dem Ziel, den Kraftstoffverbrauch und den CO₂-Ausstoß zu verringern.

Die ersten Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb wurden bereits im 19. Jahrhundert entwickelt.

1832–1839: Der Schotte Robert Anderson baut das erste elektrische Fahrzeug.

1881: Der Franzose Gustave Trouvé präsentiert ein elektrisches Dreirad („Trouvé Tricycle“), das mit einem Blei-Akku betrieben wird und eine Geschwindigkeit von 12 km/h erreicht (Bild 1).

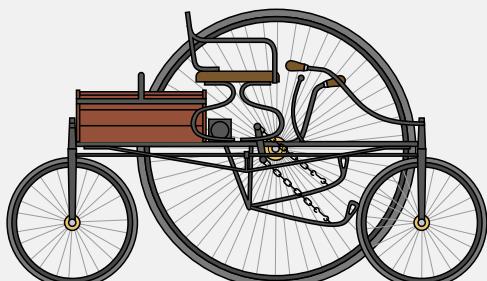


Bild 1: Trouvé Tricycle

1888: Das erste deutsche Elektroauto war der „Flocken Elektrowagen“, der von der Maschinenfabrik A. Flocken in Coburg gefertigt wurde.

1899: Der Deutsche Ferdinand Porsche entwickelt als Konstrukteur der Firma Lohner das Elektromobil „Lohner-Porsche“ mit Radnabenmotoren und Allradantrieb. Das Fahrzeug wurde 1900 auf der Pariser Weltausstellung vorgestellt (Bild 2).



Bild 2: Lohner-Porsche

Um 1900: In den USA sind ca. 34.000 elektrisch betriebene Fahrzeuge zugelassen. 1912 wurden bis dato die meisten Elektrofahrzeuge verkauft. In dieser Zeit registrierte man weltweit mehr als 500 Marken von Elektroautos.

Um 1920: Elektrofahrzeuge verlieren gegenüber Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren an Popularität, da ab ca. 1920 das Angebot an billigem Rohöl stieg. Mit der Einführung des Starters für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren anstelle des Ankurbelns wurde die Handhabung zudem bequemer.

Von 1920 bis 1990: Elektrofahrzeuge kommen lediglich in Nischenbereichen zum Einsatz. Die Weiterentwicklung der Technologie erfolgt nur noch sporadisch.

1990: Die durch Fahrzeugemissionen verursachte Luftverschmutzung an der amerikanischen Westküste führt zu starken gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Bevölkerung. Der Bundesstaat Kalifornien verabschiedet das vom California Air Resources Board (CARB) ausgearbeitete Gesetz (Clean Air Act and Zero Emission Mandate) zur stufenweisen Einführung von emissionsfreien Fahrzeugen. Viele Hersteller beginnen daraufhin mit der Entwicklung von Elektrofahrzeugen.

1997: Der Toyota Prius, das erste serienmäßig produzierte Hybridfahrzeug, wird in Japan eingeführt. Bis 2016 verkauft Toyota ca. 4 Millionen Fahrzeuge. Als Antriebsbatterie wird eine Nickel-Metallhydrid (NiMH)-Batterie verwendet. Toyota beginnt mit der Entwicklung weiterer Hybridfahrzeuge.



Bild 1: Toyota Prius I

2003: Tesla Motors wird gegründet und beginnt mit der Entwicklung von Elektrofahrzeugen.

2008: Tesla Motors bringt das Modell Roadster auf den Markt (Bild 2). Der Tesla Roadster war das weltweit erste elektrische Serienfahrzeug mit einem Batteriesystem aus Lithium-Ionen(Li-Ion)-Zellen. Das Fahrzeug verfügt über eine Reichweite von 350 km bei einer Leistung von 215 bis 225 kW. Das maximale Drehmoment beträgt 370 Nm. Bis zum Ende der Produktion im Jahr 2012 werden weltweit ca. 2500 Fahrzeuge verkauft.

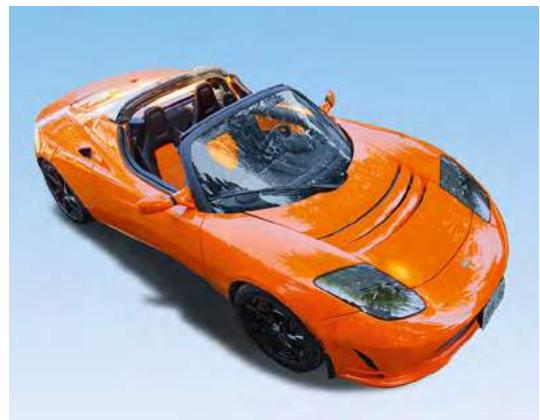


Bild 2: Tesla Roadster

2010: Der Nissan Leaf wird als eines der ersten massenproduzierten Elektrofahrzeuge eingeführt. Bis 2020 war das Fahrzeug das weltweit am meisten verkaufte Elektroauto.

2012: Tesla bringt das Model S auf den Markt und baut sein Schnellladennetz aus. 2020 betreibt Tesla mehr als 18.000 sogenannte Supercharger-Ladepunkte an 2000 Standorten in 41 Ländern (davon 660 an 72 Standorten in Deutschland).

2019: Volkswagen bringt den batterieelektrischen ID.3 auf den Markt (Bild 3).



Bild 3: Volkswagen ID.3

2020: 14 % der in Deutschland neu zugelassenen Fahrzeuge sind reine Elektrofahrzeuge.

2023: Mit dem Tesla Model Y steht erstmalig ein Elektroauto an der Spitze der meistverkauften Autos weltweit.

2024: Der chinesische Hersteller BYD verkauft weltweit mehr als 1,7 Millionen batterieelektrische Fahrzeuge.

2025: Die Konzerne Mercedes-Benz, BMW und Volkswagen haben mehr als 150 Hybrid- und Elektrofahrzeuge im Programm.