



EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Kraftfahrzeugtechnik

Fachkunde Kraftfahrzeug Hochvolttechnik

1. Auflage

Bearbeitet von Gewerbelehrern, Ingenieuren und Meistern

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

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselderger 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 Stand 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 5 4 3 2 1

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, Leistungselektronik** und **Ladetechnik** werden alle relevanten Aspekte behandelt. Das Buch widmet sich auch dem **Hochvolt-Bordnetz**, der **Klimatisierung** von Hochvoltfahrzeugen, der speziellen **Bremsentechnologie**, der **Wartungssicherheit** und der **Energieversorgung**. Abschließend werden die **Brennstoffzelle** als alternative Antriebsquelle, die Nfz-Technik 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.

Als separat erhältliche **Software** bietet 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**.



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 lektorat@europa-lehrmittel.de dankbar.

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

Online-Kurse



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

EUROPATHEK MACHT WISSEN MOBIL

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	Seriell-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 Energieregulierung 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 Drehfeldmaschinen	47
3.2.1	Asynchronmotor (Asynchronmaschine, ASM)	47
3.2.2	Permanent-erregter 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	Rotorlagensensor, Resolver-sensor	53
3.3	Antriebsarten	55
3.3.1	Einachsiger Zentralantrieb	55
3.3.2	Allradantrieb	55
3.3.3	Radnabenantrieb	55
3.4	Kühlung elektrischer Antriebsmotoren	56
3.4.1	Flüssigkeitskühlung	56
3.4.2	Ölkühlung	57
3.5	Herstellung elektrischer Antriebsmotoren	57
3.5.1	Herstellungstechnologien von Statoren	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 Antriebssystemen	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 Hybridantrieben	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

5.1 Ladevorgang	75	5.5.1 Bidirektionales Laden	84
5.2 Ladearten	77	5.5.2 Induktives Laden	85
5.2.1 Ladebetriebsarten	77	5.5.3 Megawatt-Charging-System	85
5.2.2 Ladebuchsen	79	5.6 Ladekommunikation	86
5.2.3 Ladestecker und Ladeleistung	80	5.6.1 Ladekommunikation AC-Laden	86
5.3 Wallboxentypen	81	5.6.2 Ladekommunikation DC-Laden	89
5.4 Ladeverluste	83	5.7 Ladesteckerverriegelung	90
5.5 Besondere Ladearten	84	5.8 Ladekennlinien	90

6 HOCHVOLT-BORDNETZ

6.1 Aufbau eines IT-Netzes	91	6.3.6 Ständige, automatisierte Überwachung des Isolationswiderstandes (Isowächter)	94
6.2 Ein-Fehler-Toleranz	92	6.3.7 HV-Kontaktüberwachung durch eine Ringleitung	95
6.3 Eigensicheres Fahrzeug	93	6.3.8 Entladen des Hochvolt-Bordnetzes	97
6.3.1 Anbringen von Warnhinweisschildern auf HV-Bauteilen	94	6.3.9 Abschaltung des HV-Bordnetzes bei einem Unfall	98
6.3.2 Verwendung von Signalfarben	94	6.3.10 Rettungstrennstelle	99
6.3.3 Vollständige Basisisolierung aller HV-Komponenten	94	6.4 Spannungsebenen	99
6.3.4 Aufbau als IT-Netz	94	6.5 Vorladung	101
6.3.5 Kurzschlussüberwachung	94		

7 KLIMATISIERUNG/THERMOMANAGEMENT

7.1 Beheizen der Fahrgastzelle	102	7.4.1 Luftkühlung	110
7.2 Klimatisierung der Fahrgastzelle	107	7.4.2 Kühlung der HV-Batterie mit Kältemittel	112
7.2.1 Elektrischer Klimakompressor	108	7.4.3 Kühlung der HV-Batterie mit Kühlmittel	112
7.2.2 Kompressoröl für HV-Fahrzeuge	108	7.5 Wärmepumpe	113
7.3 Kühlung der Antriebskomponenten	109	7.6 Thermomanagement	114
7.4 Temperierung der HV-Batterie	110		

8 BREMSANLAGEN VON HV-FAHRZEUGEN

8.1 Modifikationen am Bremssystem von HV-Fahrzeugen	118	8.2 Elektrische Unterdruckpumpe	119
8.1.1 Bremsvorgang bei HV-Fahrzeugen	118	8.3 Elektromechanischer Bremskraftverstärker	120

9 ARBEITEN AN HOCHVOLT-FAHRZEUGEN

9.1 Arbeiten an Hochvolt-Fahrzeugen	121	9.3 Qualifizierung	129
9.1.1 Gefahren des elektrischen Stroms beim Arbeiten am HV-Fahrzeug	122	9.3.1 Sicherheitsregeln	130
9.1.2 Umgang mit defekten HV-Fahrzeugen	123	9.3.2 Freischaltprotokoll	133
9.1.3 Betrieblicher Arbeitsplatz	124	9.3.3 Wiederinbetriebnahmeprotokoll	134
9.2 Sicheres Arbeiten	126	9.4 Isolationsüberwachung/-messung	135
9.2.1 Ringleitung	127	9.4.1 Isolationsmessgeräte	136
9.2.2 Wartungsstecker	127	9.4.2 Isolationsfehler	139
9.2.3 HV-Leitungen	128	9.5 Potenzialausgleich	143
		9.5.1 Potenzialausgleichs-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 Schutzausrüstung	149	9.8	Service am HV-Fahrzeug	156

10 ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG 157

10.1	Elektrische Energieerzeugung und Kraftwerkspark in Deutschland	157	10.4	Grundlagen der elektrischen Hausinstallation	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-Anlagenkonfigurationen	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 Netzurückwirkungen	165	10.9.2	Mittelspannung und Netzurückwirkungen	179

11 BRENNSTOFFZELLEN AN HV-FAHRZEUGEN 180

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 190

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 KRAFTFAHRZEUG-
HOCHVOLTTECHNIK

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**).

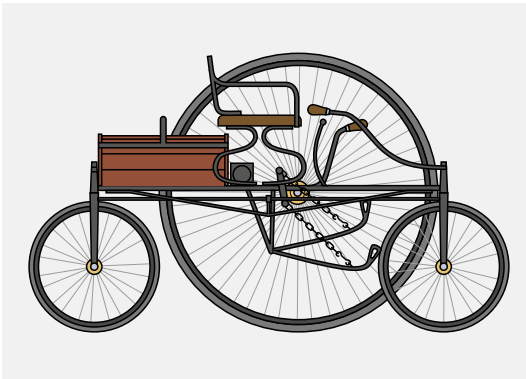


Bild 1: Trouvé Tricycle

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**).

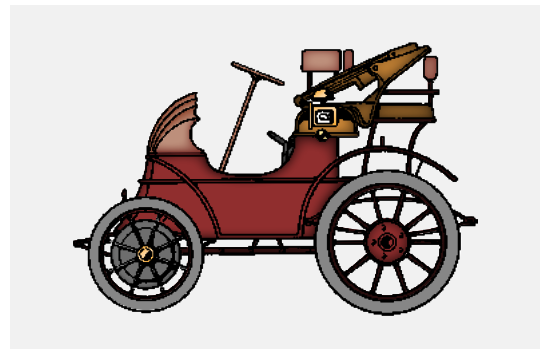


Bild 2: Lohner-Porsche

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 Schnellladenetz 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.

Vollelektrischer Antrieb. Der Antrieb erfolgt ausschließlich durch Elektromotoren. Diese können an der Hinter- und/oder Vorderachse eingebaut sein.

Teilelektrischer Antrieb (Hybridantrieb). Er ist eine Kombination aus einem Verbrennungsmotor und einem oder mehreren Elektromotoren. Zudem sind zwei Energiespeicher verbaut, z.B. die Hochvolt-Batterie und ein Kraftstofftank.

Die Übersicht (**Bild 1**) unterscheidet die folgenden Systeme:

- Full-Hybrid
- Plug-in-Hybrid
- Extended Range Electric Vehicle (EREV)
- Battery Electric Vehicle (BEV)

Die Systeme unterscheiden sich anhand der folgenden Funktionen:

- Regeneratives Bremsen
- Start-Stopp
- Drehmomentunterstützung
- Elektrisches Fahren

1.1 VARIANTEN ELEKTRISCHER ANTRIEBSSYSTEME

Full-Hybrid. Er ermöglicht das Fahren ausschließlich mit Benzin- oder Elektromotor oder ggf. auch die Kombination beider Antriebsquellen.

Plug-in-Hybrid. Er verfügt über eine Batterie, die zusätzlich über das Stromnetz geladen werden kann. Die Batterie des Plug-in-Hybrid verfügt über eine größere Kapazität als die Batterie eines Full-Hybrid-Fahrzeugs.

Extended Range Electric Vehicle (EREV). Darunter versteht man Elektrofahrzeuge, die über einen zusätzlichen Verbrennungsmotor verfügen. Der Motor dient ausschließlich der Erzeugung elektrischer Energie, falls die Kapazität der Batterie nicht ausreicht. Mit der elektrischen Energie wird die Hochvolt-Batterie geladen. Damit kann die Reichweite des Fahrzeugs verlängert werden.

Battery Electric Vehicle (BEV). Diese Fahrzeuge verfügen über keinen Verbrennungsmotor und werden ausschließlich rein elektrisch durch einen oder mehrere Elektromotoren angetrieben. Die Reichweite des Fahrzeugs hängt neben der Fahrweise auch von der Kapazität der Batterie ab.

1.2 FUNKTIONEN TEILELEKTRISCHER ANTRIEBSSYSTEME

Regeneratives Bremsen

Durch den Generator wird das Fahrzeug gebremst und die Batterien geladen. Ein integrierter Starter-Generator (**ISG**) wird während des Bremsvorganges als Generator betrieben. Einige Hersteller verwenden einen Generator in herkömmlicher Anordnung, der mithilfe einer entsprechenden Regelung (**IGR: Intelligente Generator Regelung**) und oberhalb eines festgelegten Ladezustandes nur beim Bremsen bzw. im Schubbetrieb arbeitet. In Antriebsphasen wird der Generator nicht erregt. Somit wird in diesen Phasen keine Energie bzw. kein Kraftstoff benötigt, um elektrische Energie zu erzeugen.

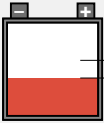
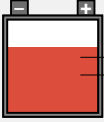
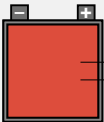
Teilelektrische Antriebe			Vollelektrischer Antrieb
Full-Hybrid	Plug-in-Hybrid	EREV (Extended Range Electric Vehicle)	BEV (Battery Electric Vehicle)
Regeneratives Bremsen	Regeneratives Bremsen	Regeneratives Bremsen	Regeneratives Bremsen
Start-Stopp	Start-Stopp		
Drehmomentunterstützung	Drehmomentunterstützung		
Elektrisches Fahren	Elektrisches Fahren	Elektrisches Fahren	Elektrisches Fahren

Bild 1: Teil- und Vollelektrische Antriebe

1

Die Intelligente Generator Regelung definiert für die Batterie zwei Ladezustände (**SoC: State of Charge**). Je nach Ladezustand der Batterie erfolgt der Regelvorgang auf unterschiedliche Weise (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: IGR-Regelvorgänge

Batteriezustand	Regelvorgang
	Unterhalb des Ladezustandes SOC1 wird die Batterie sowohl in Schub- bzw. Bremsphasen als auch in Antriebsphasen geladen.
	Befindet sich die Batterie zwischen dem Ladezustand SOC1 und SOC2 wird sie während der Schub- bzw. Bremsphase mit einer erhöhten Generatorspannung geladen. In der Antriebsphase stellt der Generator nur noch Energie für das Bordnetz zur Verfügung. Die Batterie wird nicht mehr geladen.
	Oberhalb SOC2 wird die Batterie während der Schub- und Bremsphasen geladen. In den Antriebsphasen wird der Generator völlig entlastet. Das Bordnetz des Fahrzeugs entnimmt die elektrische Energie ausschließlich der Batterie.
	Bei steigender Schubphasenzahl kann der Ladezustand der Batterie 100% erreichen. Die Batterie wird in keiner Phase mehr geladen.

Aufgrund der notwendigen Zyklenfestigkeit werden in der Regel Batterien in AGM-Bauweise (Absorbing Glas Mat) bzw. Vlies-Technologie verwendet. Die Batterie verfügt zudem über eine größere Kapazität. Der Ladezustand der Batterie wird mithilfe eines Batteriesensors ständig überwacht. Der Sensor ist mit dem Motorsteuergerät und dem Generator vernetzt.

Start-Stopp-Funktion (Bild 1)

Der Motor des Fahrzeugs wird automatisch gestoppt, sobald das Fahrzeug zum Stehen kommt. Beim Betätigen des Gaspedals bzw. beim Lösen der Bremse wird der Motor wieder angelassen. Ein Anlassen des Motors erfolgt auch, wenn sich in der Stopp-Phase die Parameter so verändern, dass das System einen Start des Motors für notwendig erachtet.



Bild 1: Startknopf

Fahrzeuge, die ausschließlich über eine Start-Stopp-Funktion verfügen werden als Micro-Hybride bezeichnet, obwohl sie nur mit einer Antriebsquelle (Verbrennungsmotor) betrieben werden.

Das Starten des Verbrennungsmotors kann auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- durch einen herkömmlichen Starter (aufgrund der häufigeren Startvorgänge ist dieser verstärkt ausgeführt)
- durch einen Riemen-Starter-Generator (RSG)
- durch einem integrierten Starter-Generator (ISG). (entweder über einen Riementrieb mit dem Motor verbunden oder im Antriebsstrang verbaut)

Für die Start-Stopp-Funktion des Motors benötigt die Systemsteuerung verschiedene Parameter, z.B. Zustand der Starterbatterie. Diese können je nach Hersteller unterschiedlich festgelegt sein.

Tabelle 2 stellt anhand eines Beispiels die Bedingungen für den automatischen Start-Stopp dar.

Tabelle 2: Fahrzeugparameter für die Start-Stopp-Funktion (Beispiel)	
Fahrzeugparameter	Bedingungen für das automatische Stoppen
Fahrzeuggeschwindigkeit	unter 3 km/h
Fahrgeschwindigkeit seit dem letzten Motorstopp	über 5 km/h
Position Schalthebel	neutral
Position Kupplungspedal	unbetätigt
Motortemperatur	über 35°C
Leerlaufdrehzahl	unter 900 1/min
Aktivkohlefilter	kein Spülvorgang
Batteriezustand	unkritisch
Druckdifferenz im Bremskraftverstärker	kleiner 500 hPa
Klimatisierungsanforderung	kein Heiz- bzw. Klimabetrieb
Außentemperatur	3–30 °C

Batteriezustand. Mithilfe des Batteriesensors werden die folgenden Parameter ermittelt:

- Ladezustand
- Batterietemperatur
- Wert für den Spannungseinbruch der Batterie beim letzten Startvorgang
- Strombedarf der eingeschalteten Verbraucher
- Auslastung des Generators

Bei ordnungsgemäßigem Batteriezustand arbeitet die Start-Stopp-Automatik. An der Schwelle zum kritischen Batteriezustand wird der Motor nicht mehr abgeschaltet bzw. startet der abgeschaltete Motor wieder.

Automatischer Motorstart in der Abschaltphase. Während der Abschaltphase wird der Motor automatisch gestartet, wenn einer der folgenden Betriebszustände vorliegt:

- Der Batteriezustand erreicht in der Abschaltphase den kritischen Bereich.
- Der Unterdruck im Bremskraftverstärker fällt unter den festgelegten Schwellenwert.
- Das Fahrzeug rollt an (Geschwindigkeit höher als 5 km/h).
- Der Sensor für die Windschutzscheibe stellt eine beschlagene Scheibe fest.
- Die Temperatur des Verdampfers der Klimaanlage steigt über einen festgelegten Schwellenwert.
- Die Abweichung zwischen Ist- und Soll-Temperatur im Innenraum befindet sich unter einem festgelegten Wert.

Ein kritischer Batteriezustand liegt vor, wenn die Batterieleistung nicht mehr ausreicht, um den Motor zu starten.

Automatischer Motorstart durch den Fahrer. Der Motor startet, indem der Fahrer das Kupplungspedal betätigt bzw. die Bremse löst (Automatikgetriebe). Die Kontaktschalter für die Motorhaube und das Gurtschloss müssen beim automatischen Motorstart durch den Fahrer geschlossen sein.

Unterdrückung des automatischen Motor-Stops. Der automatische Motor-Stopp wird unterdrückt, sobald eine der folgenden Betriebszustände vorliegt:

- Die Batterie hat einen nahezu kritischen Zustand erreicht.
- Die Klimaanlage befindet sich im Heizbetrieb.
- Die MAX-AC- oder die Defrost-Taste wurde betätigt.
- Es wurden gleichzeitig eine hohe Gebläsestufe und eine niedrige Temperatur eingestellt.
- Der Sensor der Windschutzscheibe stellt eine beschlagene Windschutzscheibe fest.

Je nach Hersteller können noch weitere Parameter berücksichtigt werden, wie z.B. der Lenkeinschlag. Damit soll verhindert werden, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten im Rangierbetrieb der Motor au-

tomatisch gestoppt wird. Bei Verwendung der automatischen Einparkhilfe wird die Start-Stopp-Funktion ebenfalls ausgeschaltet.

Drehmomentunterstützung

Das Drehmoment des Verbrennungsmotors kann in bestimmten Betriebszuständen, z.B. Anfahren oder Volllast, durch Elektromotoren unterstützt werden. Vor allem für das Anfahren sind die Elektromotoren gut geeignet, da sie bei geringer Drehzahl über ein großes Drehmoment verfügen (**Bild 1**).

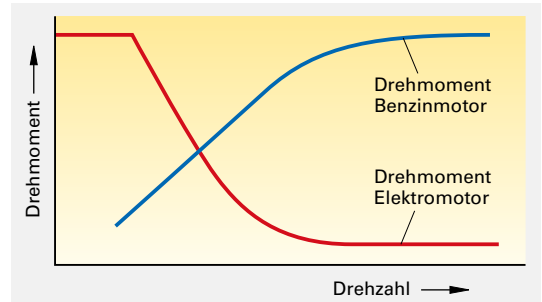


Bild 1: Vergleich Elektro- und Benzinmotor

Für eine wirksame Drehmomentunterstützung sind leistungsfähige Speichersysteme, z.B. Nickel-Hydrid- oder Lithium-Ionen-Akkumulatoren, notwendig.

Die Systeme werden zudem mit einer höheren Spannung betrieben, damit die Stromstärke und damit die notwendigen Leitungsquerschnitte reduziert werden können. Mit dem höheren elektrischen Leistungspegel lässt sich auch der Betrag an rückgewinnbarer Bremsenergie erhöhen. Die integrierten Starter-Generatoren sind im Antriebsstrang verbaut. Der Mild-Hybrid unterstützt den Verbrennungsmotor im unteren Drehzahlbereich, während Full-Hybride auch im höheren Drehzahlbereich arbeiten können.

Elektrisches Fahren

Beim Fahren mit elektrischer Energie erfolgt der Antrieb ausschließlich durch einen oder mehrere Elektromotoren.

1.3 TEILELEKTRISCHE ANTRIEBE

Aufbau

Bei teilelektrischen bzw. Hybrid-Antrieben wird zwischen seriellen und parallelen Hybrid-Systemen unterschieden. Beide Systeme können miteinander kombiniert werden.

Die Kombination aus einem seriellen und parallelen Hybrid-System wird als leistungsverzweigter Hybrid bezeichnet.

1.3.1 SERIELLES HYBRID-SYSTEM

In einem seriellen Hybrid-System (**Bild 1**) treibt ein Verbrennungsmotor einen Generator an. Die dadurch erzeugte elektrische Energie wird von einem Elektromotor als Antrieb verwendet.

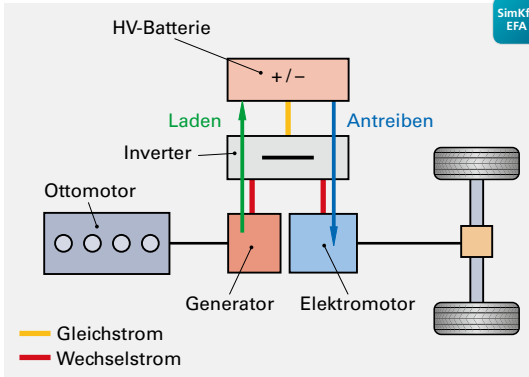


Bild 1: Serielles Hybrid-System (Prinzip)

Die elektrische Energie wird über einen Inverter in Batterien gespeichert und kann bei Bedarf, z. B. beim ausschließlich elektrischen Antrieb, wieder abgerufen werden. Ein Inverter wandelt die im Generator als Wechselstrom erzeugte elektrische Energie in Gleichstrom um, damit dieser in der Batterie gespeichert werden kann. Für den Betrieb des Elektromotors wandelt der Inverter den Gleichstrom in Wechselstrom um.

Extended Range Electric Vehicle (EREV). Zu den seriellen Hybrid-Systemen zählen auch Elektrofahrzeuge, die über einen zusätzlichen Verbrennungsmotor verfügen. Dieser kann zusammen mit dem Generator eine Baueinheit bilden (**Bild 2**).

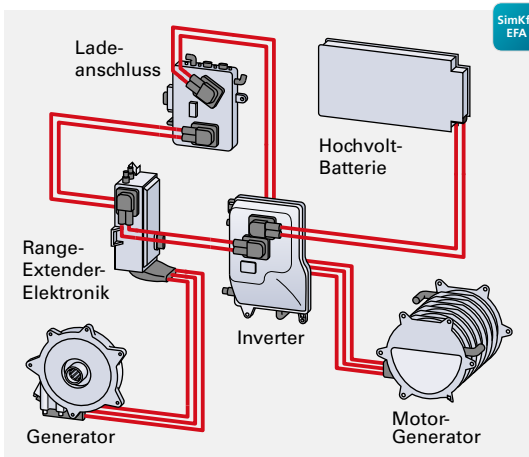


Bild 2: Extended Range Electric Vehicle (EREV)

Das serielle Hybrid-System besteht aus:

- **Range-Extender-Elektronik.** Sie wandelt die vom Generator erzeugte dreiphasige Wechselspannung in Gleichspannung um. Sie verteilt die Gleichspannung an den Ladeanschluss und den Inverter.
- **Ladeanschluss.** Er führt die Gleich- bzw. Wechselspannung über die Kontaktierung am Inverter der Hoch-Volt-Batterie zu.
- **Inverter.** Er wandelt die Gleichspannung aus der Hoch-Volt-Batterie in die zum Betrieb des Elektromotors notwendige dreiphasige Wechselspannung um. Er dient beim Laden der Hoch-Volt-Batterie als Kontaktierung für die Gleichspannung aus dem Ladeanschluss und der Range-Extender-Elektronik.
- **Motor-Generator.** Er kann als Antriebsmotor oder als Generator arbeiten und benötigt dreiphasige Wechselspannung.
- **Generator (mit Verbrennungsmotor).** Er bildet gemeinsam mit dem Verbrennungsmotor eine Baueinheit. Er wird durch den Verbrennungsmotor angetrieben und erzeugt eine dreiphasige Wechselspannung.

Der Verbrennungsmotor dient ausschließlich der Erzeugung elektrischer Energie, falls die Kapazität der Batterie nicht ausreicht („On-Board-Stromerzeugung“).

Bei Bedarf schaltet eine Elektronik den Verbrennungsmotor zu. Damit wird die Reichweite des Fahrzeuges erhöht.

Dabei sind die folgenden Betriebszustände möglich:

1. **Fahren:**
Der Verbrennungsmotor treibt den Generator an, der die Hoch-Volt-Batterie lädt. Über den Inverter wird der Motor-Generator mit Energie versorgt.
2. **Fahren ohne Emission:**
Die Hoch-Volt-Batterie verfügt über genügend Energie für den Antrieb des Motor-Generators.
3. **Rekuperation:**
Der Motor-Generator wird beim Bremsen als Generator betrieben und lädt die Hoch-Volt-Batterie.
Als Verbrennungsmotoren können Otto-, Diesel oder Wankel-Motoren eingesetzt werden. Bei Bussen werden z. B. Dieselmotoren verwendet. Wankel-Motoren haben den Vorteil, dass sie nahezu vibrationsfrei laufen sowie über geringe Abmessungen und ein niedriges Gewicht verfügen. Verbrennungsmotoren in einem seriellen Hybrid-System werden unabhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs in einem optimalen Drehzahl- und Lastbereich betrieben. Dies trägt dazu bei, den Kraftstoffverbrauch zu minimieren und die Emissionen zu reduzieren. Der Kraftstoffvorratsbehälter von Personenkraftwagen hat ein Volumen von 10 bis 30 Liter.

1.3.2 PARALLELES HYBRID-SYSTEM

Bei einem parallelem Hybrid-System (**Bild 1**) treiben Verbrennungsmotor und Elektromotor gemeinsam die Räder an.

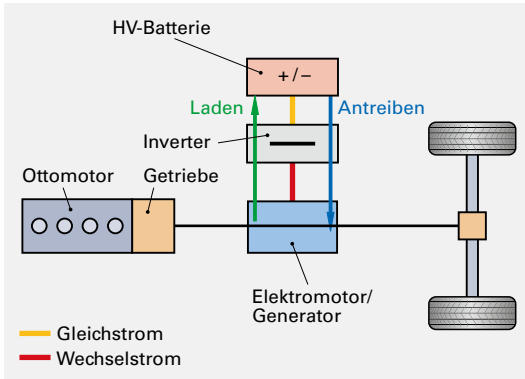


Bild 1: Paralleles Hybrid-System

Laden der Batterie. Der Elektromotor kann auch als Generator arbeiten und wird deshalb als Motor-Generator bezeichnet. Die Batterie wird aufgeladen, indem er während der Fahrt mit dem Verbrennungsmotor oder beim Bremsen umgeschaltet wird (Rekuperation).

Antrieb. Die Verbindung zwischen dem Verbrennungsmotor und dem Elektromotor ist in diesem System starr, z.B. durch eine Verflanschung zwischen der Kurbelwelle und dem Elektromotor, der damit gleichzeitig als Starter verwendet werden kann. Aufgrund der flachen Bauweise ist eine Anordnung zwischen Motor und Getriebe möglich (**Bild 2**).



Bild 2: Paralleles Hybrid-System

Der Elektromotor (Permanentmagnet-Synchronmotor) übernimmt gleichzeitig die Funktion einer Ausgleichswelle. Als Getriebe wird in der Regel ein CVT-Getriebe (Continuous Variable Transmission) verwendet.

Die Steuereinheit besteht aus der Batterie sowie der Leistungseinheit (Batteriesteuergerät, Spannungswandler, Lüftermotor). Die Antriebseinheit im vorderen Teil des Fahrzeugs wird über eine Hochspannungsleitung mit elektrischer Energie versorgt (**Bild 1**).

1.3.3 LEISTUNGSVERZWEIGTES HYBRID-SYSTEM

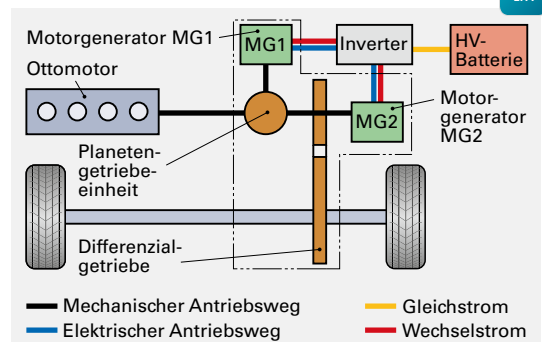


Bild 3: Aufbau des leistungsverzweigten Hybridantriebs

Das leistungsverzweigte Hybridsystem (**Bild 3**) stellt eine Kombination aus dem parallelen und dem seriellen Hybridsystem dar. Über eine Planetengetriebeeinheit sind der Verbrennungsmotor sowie ein oder zwei Elektromotoren (MG1 und MG2) mechanisch miteinander verbunden.

Aufbau der Antriebseinheit. Sie besteht aus den Motorgeneratoren MG1 und MG2, der Planetengetriebeeinheit und dem Differentialgetriebe. Sie verfügt außerdem über einen Anschluss an den Inverter bzw. die Batterie.

Die Antriebseinheit wird mit einer Spannung von ca. 150 bis 350 Volt durch die Batterie versorgt. Der Inverter wandelt den Wechselstrom in Gleichstrom bzw. umgekehrt um. Die Elektromotoren sind mit dem Inverter mit einer Hochspannungsleitung verbunden. Diese besteht aus zwei Stromleitern. Eine Abschirmung verhindert elektromagnetische Strahlung.

Die Hochvolt-Batterie befindet sich im Heck des Fahrzeugs. Sie besteht aus Lüfter, Sicherheitsrelais und einem Akkumulator (**Bild 1, Seite 16**). Die Batteriesteuerung überwacht Temperatur, Lade- und Entladeströme sowie die Spannungen der Einzelzellen.

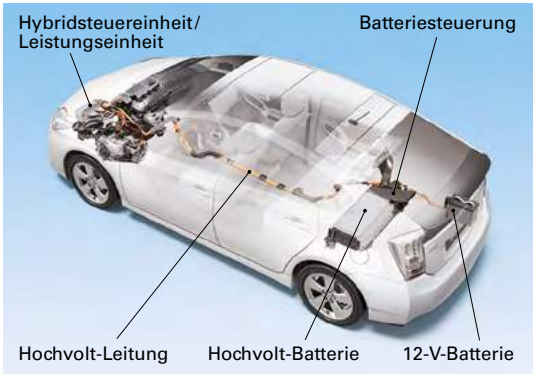


Bild 1: Komponenten des Hybridantriebs

Der Verbrennungsmotor und die beiden Motorgeneratoren MG1 und MG2 sind über eine Planetengetriebeeinheit miteinander gekoppelt. Über eine Reduktionsstufe wird das Drehmoment auf das Vorderachsdifferenzial übertragen.

Der Motor verfügt über eine Dämpfungseinheit, damit Motorschwingungen nicht in die Planetengetriebeeinheit übertragen werden. Der Motor treibt außerdem die Ölpumpe für das Getriebe an (**Bild 2**).

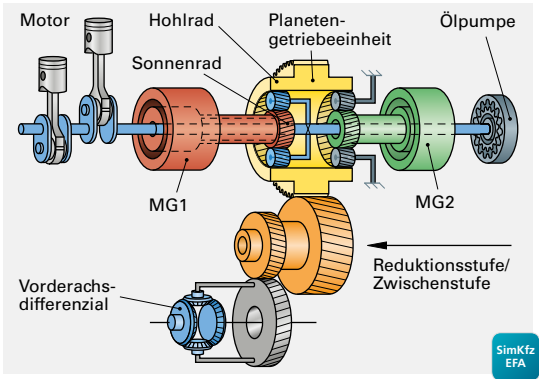


Bild 2: Funktionschema Antriebseinheit

Die Planetengetriebeeinheit besteht aus einer Kraftweiche und einem Reduktionsgetriebe (**Bild 3**).

■ Kraftweiche

Kopplungen zwischen Kraftweiche und Antrieb

Sonnenrad	→	MG1
Planetenradträger	→	Ottomotor
Vorderräder	→	Hohlrad

Durch sie werden der MG1, der Ottomotor und die Reduktionsstufe (Vorderachsdifferenzial bzw. Vorderräder) miteinander gekoppelt.

■ Reduktionsgetriebe

Es dient zur Reduzierung der Drehzahl von MG2 zum Hohlrad. Die Kraftweiche und das Reduktionsgetriebe verfügen über ein gemeinsames Hohlrad.

Kopplungen zwischen Reduktionsgetriebe und Antrieb

Sonnenrad	→	MG2
Planetenradträger	→	feststehend
Vorderräder	→	Hohlrad

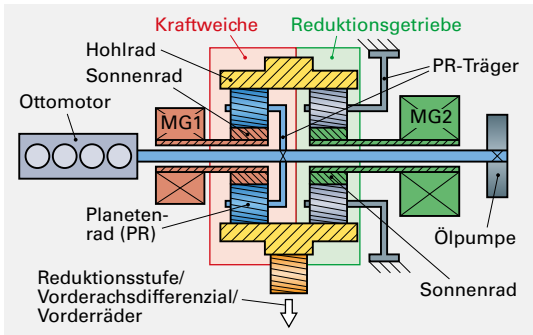


Bild 3: Planetengetriebeeinheit

■ Nomografisches Diagramm

Mithilfe eines nomografischen Diagramms lassen sich die Drehzahlverhältnisse in der Planetengetriebeeinheit in den einzelnen Betriebszuständen darstellen (**Bild 4**).

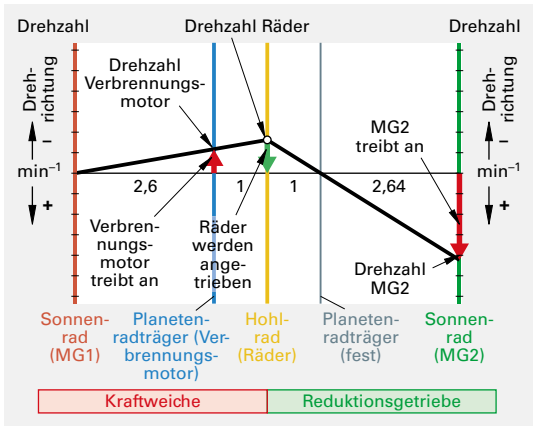


Bild 4: Nomografisches Diagramm

Die Kopplungen zwischen den Antrieben (Motor, MG1, MG2), Kraftweiche und Reduktionsgetriebe sind in der **Horizontalen** in Bezug auf die Übersetzungsmaßstäbe angeordnet (von links nach rechts $i = 2,6$; $i = 1$; $i = 1$; $i = 2,64$).

Die **orangenen Linien** stellen den Betriebszustand dar.

Mithilfe von farbigen Pfeilen kann im nomografischen Diagramm dargestellt werden, ob ein Bauteil antreibt (**roter Pfeil: antreibend**) oder angetrieben wird (**grüner Pfeil: angetrieben**). Dadurch lässt sich für die Motorgeneratoren MG1 und MG2 feststellen, ob sie als Motoren oder als Generatoren betrieben werden. Für den Verbrennungsmotor lässt sich feststellen, ob er gestartet wird oder als Antrieb arbeitet.

Beispiel: Bild 4, Seite 16

Die Planetengetriebeeinheit verfügt über die folgenden Übersetzungen:

1. Übersetzung zwischen Sonnenrad (MG1) und Planetenradträger (Motor) $i = 2,6$.
2. Übersetzung zwischen Planetenradträger und Sonnenrad (MG2) $i = 2,64$
3. Übersetzung zwischen Planetenradträger (Motor) und Hohlrad (Räder) $i = 1$

Der Verbrennungsmotor sowie das Hohlrad und den feststehenden Planetenradträger des Reduktionsgetriebes ist MG2 gekoppelt und dreht sich ebenfalls.

Der Antrieb erfolgt in der dargestellten Betriebsart durch den Verbrennungsmotor und MG2.

Die Drehzahlen lassen sich im Diagramm ablesen.

■ Betriebsarten

Das Steuergerät erkennt über den Fahrpedalsensor den Fahrwunsch des Fahrers. Weiterhin erhält es Informationen u. a. über die Fahrgeschwindigkeit und die Schaltposition. Anhand dieser Informationen steuert es die Energieflüsse und Antriebskräfte in den einzelnen Betriebsarten.

Antriebseinheit gestoppt (Bild 1). In dieser Betriebsart sind alle Drehungen gestoppt. Das Fahrzeug steht und der Verbrennungsmotor ist aus. Die schwarze Linie liegt auf der Nulllinie, d. h., dass kein Aggregat antreibt oder angetrieben wird.

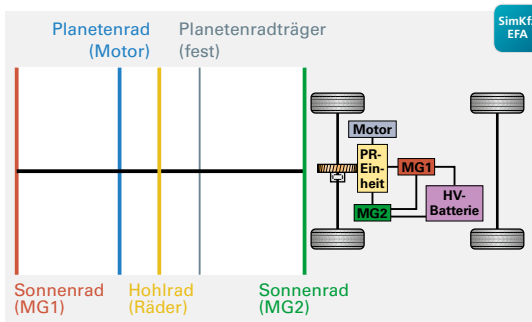


Bild 1: Antriebseinheit gestoppt

Start des Verbrennungsmotors (Bild 2). MG1 startet den Verbrennungsmotor. Die dazu benötigte elektrische Energie wird aus der Batterie entnommen. Der

Start des Verbrennungsmotors ist sowohl bei Fahrzeugstillstand als auch bei Fahrt möglich.

MG2 wird bestromt und erzeugt ein gegenläufiges Drehmoment. Dadurch drehen sich das Hohlrad bzw. die Räder nicht und ein Ruckeln des Fahrzeugs wird verhindert.

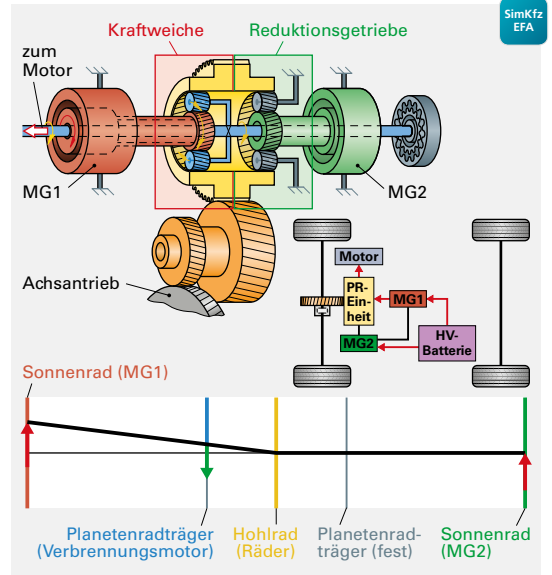


Bild 2: Start des Verbrennungsmotors

Leerlauf (Bild 3). Der Verbrennungsmotor dreht und treibt MG1 an. MG1 arbeitet als Generator und lädt die Batterie. MG2 wird bestromt und damit ein gegenläufiges Drehmoment erzeugt. Dadurch drehen sich das Hohlrad bzw. die Räder nicht.

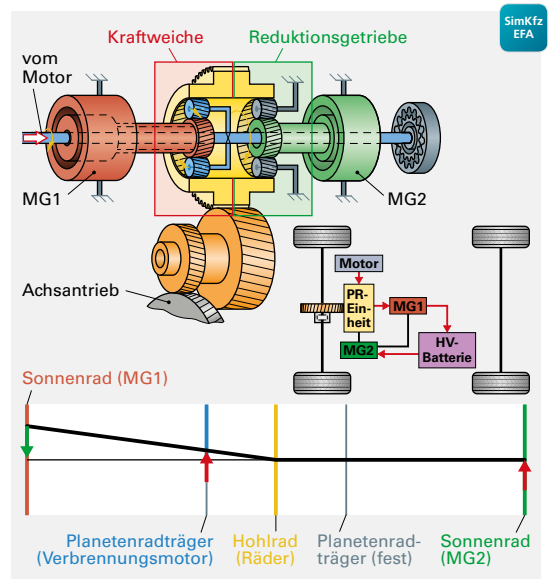


Bild 3: Leerlauf

1

Anfahren. Das Fahrzeug fährt normalerweise elektrisch an. Dies ist möglich, wenn der Ladezustand der Batterie nicht geringer als 30% ist. Der Antrieb beim Anfahren erfolgt ausschließlich durch MG2 (**Bild 1**). Der Ottomotor steht und MG1 dreht sich rückwärts, ohne Strom zu erzeugen.

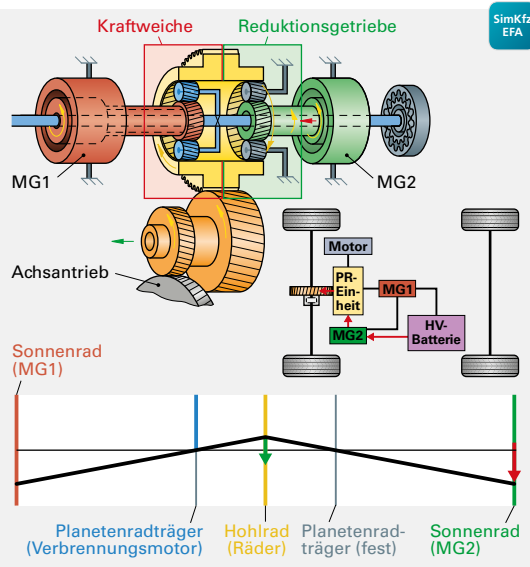


Bild 1: Elektrisches Anfahren

Für den Fall, dass die Batterie nicht ausreichend geladen ist, wird der Verbrennungsmotor gestartet. Dieser treibt dann sowohl MG1 als auch die Räder an. Die in MG1 erzeugte elektrische Energie wird in der Batterie gespeichert und MG2 zur Verfügung gestellt (**Bild 2**).

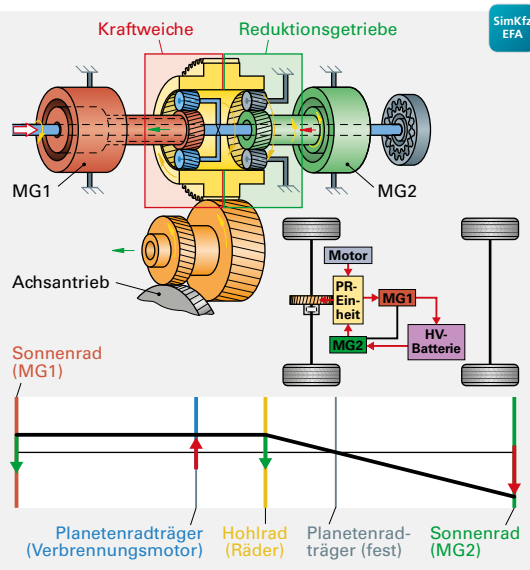


Bild 2: Nach Start des Verbrennungsmotors

Beschleunigung (Bild 3). Der Verbrennungsmotor und MG2 treiben das Hohlrad bzw. die Räder an. MG1 wird vom Verbrennungsmotor angetrieben und stellt den erzeugten Strom MG2 zur Verfügung. Zusätzlich kann die Energie der Hochvolt-Batterie genutzt werden.

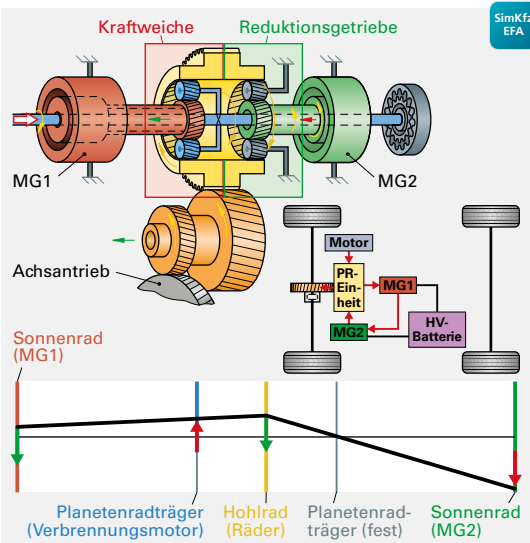


Bild 3: Beschleunigung

Gleichmäßige Fahrt (Bild 4). Ab einer bestimmten Geschwindigkeit treibt der Verbrennungsmotor das Hohlrad bzw. die Räder und MG2 an. MG1 wird ebenfalls angetrieben und erzeugt Strom. Dadurch entsteht ein Gegenmoment am Sonnenrad und der Verbrennungsmotor kann über den Planetenradträger das Hohlrad bzw. die Räder antreiben. Die Hochvolt-Batterie wird geladen.

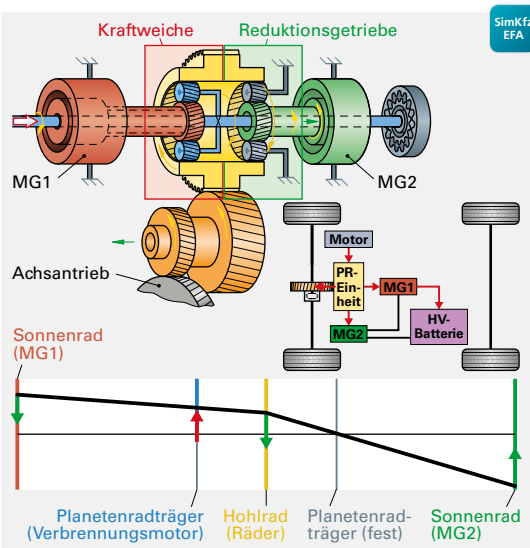


Bild 4: Gleichmäßige Fahrt

Volllast oder starke Beschleunigung (Bild 1). Bei Volllast erfolgt der Antrieb gemeinsam durch den Verbrennungsmotor und MG2. MG1 wird durch den Verbrennungsmotor angetrieben. MG2 erhält von MG1 und der Batterie die zum Antrieb notwendige elektrische Energie.

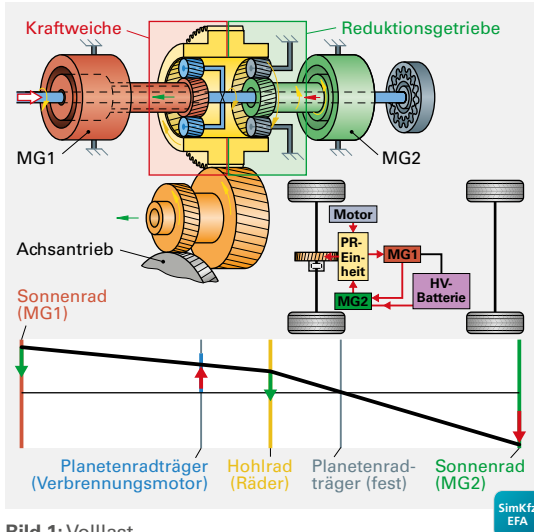


Bild 1: Volllast

Verzögerung. Bei Verzögerung hat der Fahrer die Möglichkeit, das Fahrzeug weiterhin in Fahrstufe D zu betreiben oder in Fahrstufe B zu wechseln.

Fahrstufe D (elektr. Verzögerung). Sie erfolgt dadurch, dass die Räder über das Hohlräder MG2 antreiben. MG2 erzeugt ein gegenläufiges Drehmoment und lädt die Batterie (Rekuperation). MG1 dreht mit, erzeugt aber keinen Strom. Der Verbrennungsmotor dreht für eine kurze Zeit mit abgeschalteter Kraftstoffeinspritzung weiter (Bild 2) und steht dann still.

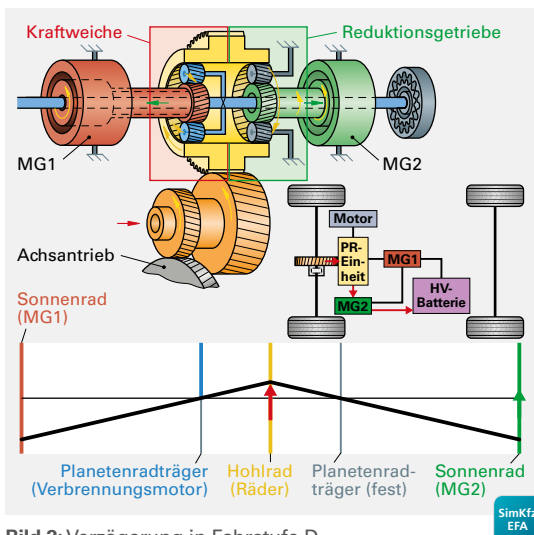


Bild 2: Verzögerung in Fahrstufe D

Fahrstufe B (Bild 3). Hierbei erfolgt die Verzögerung sowohl elektrisch als auch durch den Verbrennungsmotor, z. B. bei längerer Bergabfahrt. Dabei wird die Bremswirkung von MG2 und dem Verbrennungsmotor genutzt. Der Verbrennungsmotor dreht mit, die Kraftstoffeinspritzung ist jedoch abgeschaltet. MG1 und das Hohlräder bzw. die Räder treiben den Verbrennungsmotor an. Dieser erzeugt ein gegenläufiges Drehmoment. MG2 versorgt MG1 mit Strom.

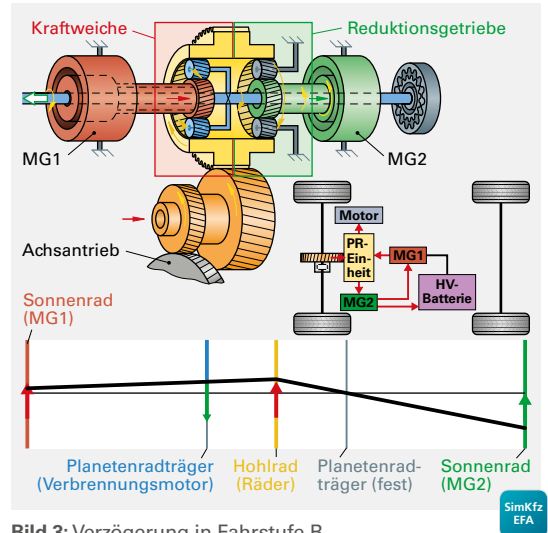


Bild 3: Verzögerung in Fahrstufe B

Rückwärtsfahrt (Bild 4). Bei Rückwärtsfahrt wird die Drehrichtung von MG2 umgekehrt. MG2 wird mit elektrischer Energie aus der Batterie versorgt. Der Verbrennungsmotor und der dazugehörige Planetenradträger stehen still. Damit dreht sich MG1 in umgekehrte Richtung. MG1 erzeugt in dieser Betriebsart keinen Strom.

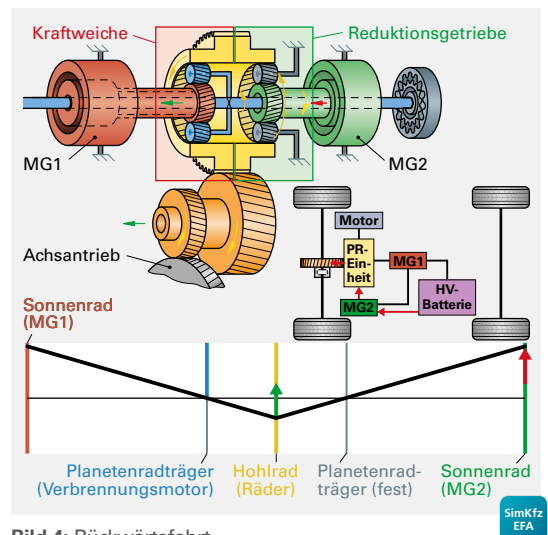


Bild 4: Rückwärtsfahrt

■ Leistungsverzweigte Hybrid-Systeme bei Allradantrieben

Das leistungsverzweigte Hybrid-System ermöglicht die Realisierung von Allradantrieben. Dazu verfügt das Fahrzeug neben dem Benzinmotor über je einen Elektromotor an der Vorder- bzw. Hinterachse.

Elektrisches Fahren (Bild 1). Der Verbrennungsmotor ist außer Betrieb und der Antrieb des Fahrzeugs erfolgt durch die Elektromotoren an der Vorder- und Hinterachse. Dabei kann die Aufteilung der Antriebskraft zwischen den Achsen je nach Fahrsituation verändert werden.

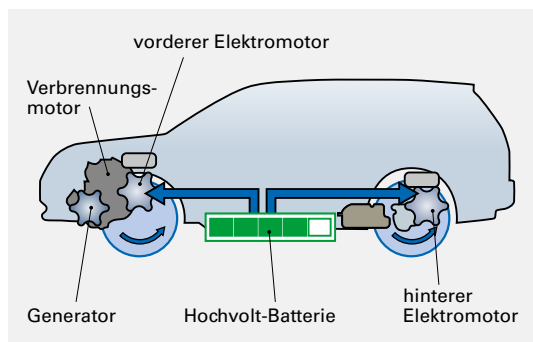


Bild 1: Elektrisches Fahren

Serieller Modus (Bild 2). Sinkt die Batteriekapazität unter ein definiertes Niveau oder wird das Fahrzeug stark beschleunigt, startet der Verbrennungsmotor automatisch.

Der Verbrennungsmotor treibt einen Generator an, der den Strom zur Versorgung der beiden Elektromotoren in die Batterie einspeist oder über den Inverter an die Elektromotoren verteilt.

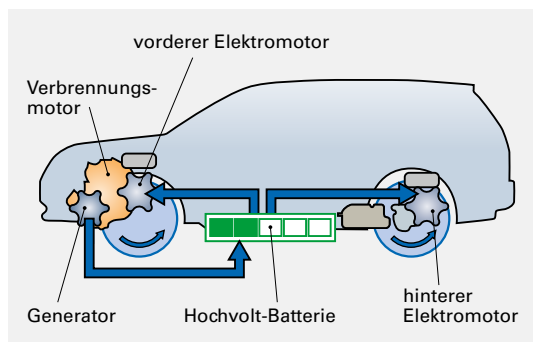


Bild 2: Serieller Modus

Paralleler bzw. leistungsverzweigter Modus (Bild 3)

Wird eine höhere Leistung verlangt, so schaltet das Fahrzeug in den parallelen bzw. leistungsverzweigten Hybrid-Modus. Hier sorgt hauptsächlich der auf die Vorderachse wirkende Verbrennungsmotor für den Antrieb.

Er wird je nach Fahrsituation vom Elektromotor an der Hinterachse oder zusätzlich vom Elektromotor an der Vorderachse unterstützt.

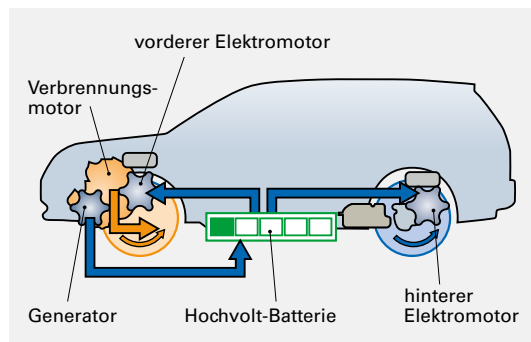


Bild 3: Paralleler bzw. leistungsverzweigter Modus

1.4 VOLLELEKTRISCHE ANTRIEBE

Fahrzeuge mit vollelektrischen Antrieben nutzen Elektromotoren für den Antrieb und ausschließlich elektrische Energie, die aus wieder aufladbaren Batterien stammt.

Diese Fahrzeuge produzieren im Fahrbetrieb keine Emissionen. Unter der Voraussetzung, dass die Stromerzeugung durch erneuerbare Energien erfolgt, stellen diese Antriebe eine umweltschonende Alternative zu herkömmlichen Antriebstechnologien dar.

Ein weiteres Merkmal des elektrischen Antriebs ist das bereits beim Anfahren zur Verfügung stehende hohe Drehmoment des Elektromotors. Vollelektrische Fahrzeuge sind in der Regel leiser als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Dies führt zu einer Reduzierung von Lärmemissionen.

Die Reichweite von Fahrzeugen mit vollelektrischen Antrieben hat sich mit der Entwicklung leistungsfähigerer Batterien deutlich verbessert. Sie ist von verschiedenen Faktoren wie Fahrweise, Topografie und klimatischen Bedingungen abhängig. Die Ladeinfrastruktur für Fahrzeuge mit vollelektrischem Antrieb wird kontinuierlich ausgebaut, wobei Schnellladestationen eine zunehmend verbreitete Möglichkeit bieten, um die Ladezeiten zu verkürzen. Bei Fahrzeugen mit vollelektrischen Antrieben erfolgt die Speicherung der elektrischen Energie in einer Hochvolt-Batterie. Batterieelektrische Elektrofahrzeuge werden in der Regel als BEV (englisch battery electric vehicle) bezeichnet.

Technologische Integrationen wie regenerative Bremsen, die Energie zurückgewinnen, verbessern die Effizienz dieser Fahrzeuge weiter.