

Bell ■ Eibl ■ Föll ■ Schüler

Sonderheft

Elektromobilität

zum Tabellenbuch Fahrzeugtechnik

28. Auflage

Sonderheft

FAHRZEUGTECHNIK



Sonderheft Elektromobilität

Zur 28., überarbeiteten und erweiterten Auflage 2017
des Tabellenbuchs Fahrzeugtechnik

M. Bell

W. Schüler

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich oder durch bundesweite Vereinbarungen zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Die Verweise auf Internetadressen und -dateien beziehen sich auf deren Zustand und Inhalt zum Zeitpunkt der Drucklegung des Werks. Der Verlag übernimmt keinerlei Gewähr und Haftung für deren Aktualität oder Inhalt noch für den Inhalt von mit ihnen verlinkten weiteren Internetseiten.

Verlag Handwerk und Technik GmbH,
Lademannbogen 135, 22339 Hamburg; Postfach 630500, 22331 Hamburg – 2020
E-Mail: info@handwerk-technik.de, Internet: www.handwerk-technik.de

Umschlagabbildungen: Toyota Deutschland GmbH, 50420 Köln, stock.adobe.com © industrieblick
Zeichnungen: CMS – Cross Media Solutions GmbH, 97082 Würzburg; Volkswagen AG, Wolfsburg, S. 11 (1, 2, 4)
Satz: CMS – Cross Media Solutions GmbH, 97082 Würzburg

Vorwort

Das vorliegende Sonderheft „Elektromobilität“ ersetzt im Wesentlichen das Kapitel „Alternative Antriebe“ im Tabellenbuch Fahrzeugtechnik, 28. Auflage, mit der Bestellnummer 3510. Der Umfang wurde von 2 auf 10 Seiten erweitert. Das Sonderheft enthält alle für die Ausbildung wichtigen Inhalte und trägt der rasch zunehmenden Bedeutung der Elektromobilität Rechnung.

Die schwarz gedruckten Seitenverweise beziehen sich auf Seiten innerhalb des Sonderhefts, die **blau** gedruckten Seitenverweise beziehen sich auf die 28. Auflage des Tabellenbuchs Fahrzeugtechnik. Das detaillierte Sachwortverzeichnis ermöglicht den schnellen Zugriff auf die gesuchten Inhalte.

Das Sonderheft „Elektromobilität“ kann als pdf-Datei heruntergeladen werden:
www.handwerk-technik.de/links/3510.

Hinweis zur pdf-Datei: Beim Klick auf die Seitenzahlen im Inhaltsverzeichnis sowie im Sachwortverzeichnis des Sonderhefts erscheint die entsprechende Seite auf dem Bildschirm.

Inhaltsverzeichnis

Elektromobilität

Einteilung Elektro- und Hybridantriebe	3
Hybridantriebe	4
Elektroantriebe	5
Leistungselektronik	6
Elektrische Antriebsmotoren, Rotorlagesensor . . .	7
Energiespeicher	8
HV-Batterie laden, Brennstoffzellensystem	9
Ladeschnittstellen, Ladesysteme	10
Ladevorgang, Sicherheitskonzept	11
Stromlaufplan Hochvoltsystem (Beispiel)	12
Sachwortverzeichnis	13

Einteilung

Arbeiten an Hochvoltssystemen vgl. S. 87

Hybridantriebe (teilelektrische Antriebe) nutzen einen Verbrennungsmotor und/oder zusätzlich noch einen Elektromotor zum Antreiben des Fahrzeugs. Der vollelektrische Antrieb nutzt nur Elektromotoren, um das Fahrzeug anzutreiben.

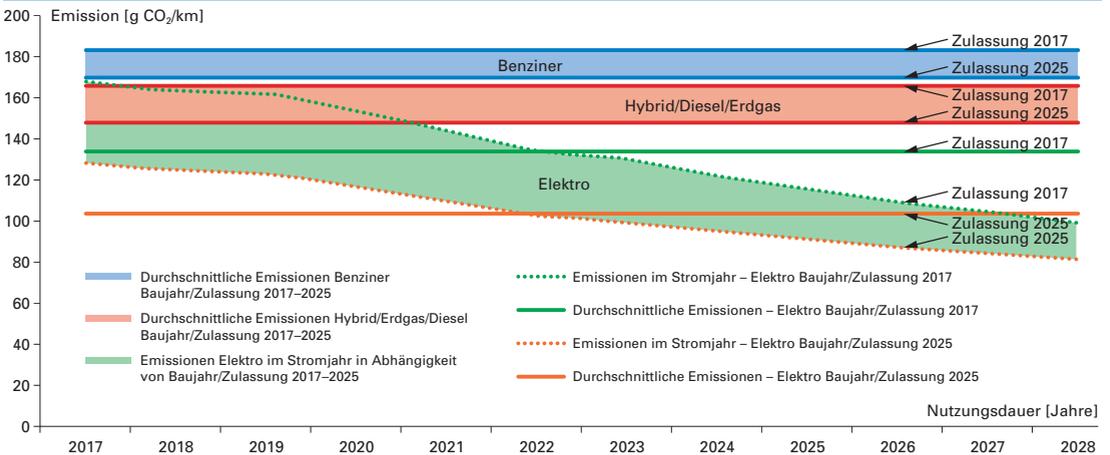
Ohne elektrischen Antrieb	Elektrischer Antrieb und/oder Antrieb mit dem Verbrennungsmotor (teilelektrischer Antrieb)		Vollelektrischer Antrieb
Micro-Hybrid el. Leistung 3... 5 kW Spannung 48 V	Mild-Hybrid el. Leistung 10... 20 kW Spannung 42... 200 V	Full-Hybrid el. Leistung 20... 75 kW Spannung 150... 650 V	Batterie-Fahrzeug Brennstoffzelle el. Leistung ...500 kW Spannung ...800 V
Start-Stopp	Start-Stopp	Start-Stopp	
Regeneratives Bremsen (Rekuperation) möglich	Regeneratives Bremsen (Rekuperation)	Regeneratives Bremsen (Rekuperation)	Regeneratives Bremsen (Rekuperation)
	Drehmomentunterstützung (Boost-Funktion)	Drehmomentunterstützung (Boost-Funktion)	
		Elektrisches Fahren bis zu 80 km	Elektrisches Fahren bis zu 500 km

Funktionen

Start-Stopp	Hält das Fahrzeug an, wird der Motor gestoppt. Beim Betätigen des Gaspedals bzw. beim Lösen der Bremse wird der Motor automatisch gestartet. Start-Stopp erfolgt nur bei betriebswarmem Motor und ausreichender Batteriekapazität.	Das Starten ist möglich durch: - verstärkten Starter - riemengetriebenen Starter-Generator - integrierten Starter-Generator - Motorgenerator
Regeneratives Bremsen (Rekuperation)	Beim Betätigen der Bremse wird ein Teil der Bewegungsenergie über den als Generator betriebenen Motorgenerator in elektrische Energie umgewandelt. Die elektrische Energie wird in die Batterie eingespeist und kann zum Starten,	zum „Boosten“ und elektrischen Fahren genutzt werden. Voraussetzung ist ein Energiemanagement, das möglichst immer genügend Batteriekapazität zum Speichern zur Verfügung stellt und ein Überladen der Batterie verhindert.
Drehmomentunterstützung (Boost-Funktion)	Beim Anfahren und Beschleunigen sind Verbrennungsmotor und Elektromotor parallel geschaltet. Das Drehmoment beider Motoren wird addiert. Das Drehmomentverhalten von E.-Motor (M_{max} bei niedriger Drehzahl) und Verbrennungsmotor (M_{max} bei hoher Drehzahl) ergänzen sich.	Die beim Bremsen gespeicherte Energie kann dafür wiederverwendet werden. Durch beide Drehmomente ist eine hohe Beschleunigung mit kleinem Verbrennungsmotor möglich.
Elektrisches Fahren	<i>Full-Hybrid, Plug-in-Hybrid:</i> Bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit und Reichweite wird das Fahrzeug nur durch den Elektromotor angetrieben. Die mögliche Geschwindigkeit hängt vor	allem von der Leistung des E-Motors ab, die Reichweite von der Batteriekapazität. Beim <i>vollelektrischen Antrieb</i> sind deutlich höhere Geschwindigkeiten und Reichweiten möglich.

Emissionsvergleich unterschiedlicher Antriebskonzepte

Quelle: BMU Stand Januar 2019



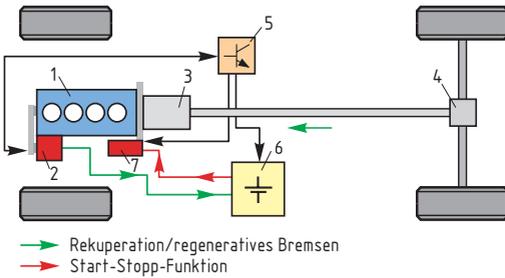
Nach Nutzungsjahr aufgeschlüsselte CO₂-Emissionen verschiedener Vergleichsfahrzeuge, pro Fahrzeugkilometer. Die Darstellung berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs. Der grüne Balken bildet das Elektroauto ab. Er zeigt die Emissionsentwicklung eines 2017 auf die Straße kommenden E-Autos (obere Grenze des Balkens, grün gepunktet) und eines, das 2025 auf die Straße kommt (untere Grenze des Balkens, orange gepunktet). Da der Strommix zum Laden des E-Autos über die

Nutzungsdauer „grüner“ wird, werden auch die Emissionen des E-Autos geringer. Deshalb sinken die beiden gepunkteten Linien und der grüne Balken über die Nutzungsdauer. Der hellrote und der blaue Balken zeigen die Vergleichsfahrzeuge mit Verbrennungsmotor (Benziner = blau, Hybrid/Erdgas/Diesel = hellrot), wobei die obere Grenze der Balken jeweils die CO₂-Emission der Neufahrzeuge aus 2017 darstellt und die untere Grenze die der Neufahrzeuge in 2025.



Einteilung der Hybridantriebe nach Anordnung der Antriebe

Micro Hybrid



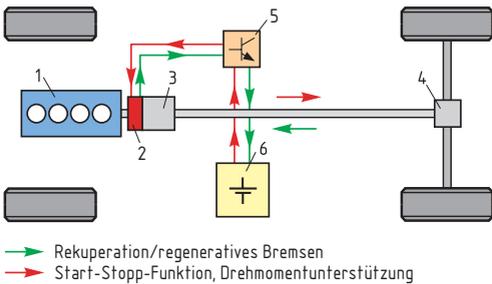
- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1 Verbrennungsmotor | 5 Steuergerät |
| 2 Generator | 6 Starterbatterie (12 V) |
| 3 Getriebe | 7 Starter |
| 4 Ausgleichsgetriebe | |

Micro-Hybrid: Ermöglicht Start-Stopp-Funktion entweder über einen verstärkten Starter oder über einen riemengetriebenen Starter-Generator.

Durch einen leistungsstarken Generator und die entsprechende Ansteuerung ist ein Laden der Starterbatterie vor allem beim Bremsen (Rekuperation/regeneratives Bremsen) möglich. Die mögliche Kraftstoffeinsparung liegt unter 10%. Da der Elektromotor keinen Einfluss auf den Vortrieb hat, ist dies eigentlich kein Hybridfahrzeug.

Beispiel: Smart „Micro-Hybrid“ Drive (mhd)

Mild Hybrid



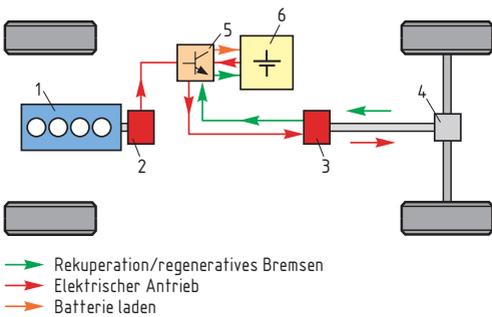
- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1 Verbrennungsmotor | 4 Ausgleichsgetriebe |
| 2 Motorgenerator (E.-Motor/Generator) | 5 Inverter |
| 3 Getriebe | 6 Batterie (< 200 V) |

Mild-Hybrid: Ermöglicht wie der Micro-Hybrid Start-Stopp-Funktion und Rekuperation/regeneratives Bremsen. Zusätzlich gibt es eine Drehmomentunterstützung (Boost-Funktion) durch einen Elektromotor mit bis zu 20 kW Unterstützung beim Anfahren und Beschleunigen des Fahrzeugs bei niedriger Verbrennungsmotordrehzahl. Die mögliche Kraftstoffeinsparung liegt unter 20%.

Die Energierückgewinnung ist beim Schiebetrieb und beim Bremsen möglich. Oft erfolgt nur eine kurzfristige Energiespeicherung durch Kondensatoren. Der Spannungsbereich der Batterie liegt unter 200 V. Meistens werden 48 V-Teil-Bordnetzsysteme verwendet.

Beispiele: Mercedes S400 Hybrid, 7er BMW Active Hybrid

Serieller Hybrid (S-HEV)



- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1 Verbrennungsmotor | 4 Ausgleichsgetriebe |
| 2 Motorgenerator (E.-Motor/Generator) | 5 Inverter |
| 3 Motorgenerator (E.-Motor/Generator) | 6 HV-Batterie |

Serieller Hybridantrieb (S-HEV, serial hybrid electric vehicle): Zwischen dem Verbrennungsmotor und der Antriebsachse gibt es keine mechanische Verbindung. Der Verbrennungsmotor treibt direkt einen Generator an. Die elektrische Energie wird über den Inverter in der Batterie gespeichert oder über den Inverter an den Elektromotor weitergeleitet. Der Elektromotor treibt dann die Antriebsachse an. Dies bedeutet, es findet eine serielle Energieumwandlung statt vom Verbrennungsmotor an den Generator über den Inverter oder die HV-Batterie zum Elektromotor.

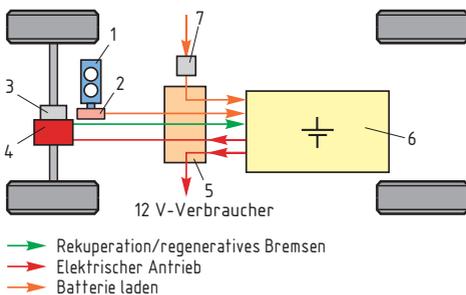
Durch den rein elektrischen Antrieb des Fahrzeugs entfällt ein Getriebe und der Verbrennungsmotor kann in einem für ihn optimalen Betriebspunkt betrieben werden.

Betriebszustände:

- Fahren mit Emissionen: Verbrennungsmotor lädt Batterie, Batterie versorgt E-Motor
- Fahren ohne Emissionen: Batterie ausreichend geladen, Batterie versorgt E-Motor
- Rekuperation: Motor-Generator wird als Generator betrieben und lädt die Batterie

Beispiele: Stadtbusse, Opel Ampera

Elektrischer Antrieb mit Range Extender (REEV)



- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1 Verbrennungsmotor | 5 Inverter |
| 2 Generator | 6 HV-Batterie |
| 3 Getriebe | 7 On-Board-Aufladesystem |
| 4 Elektromotor | |

Range Extender: (REEV, range extended electric vehicle) Hat im Prinzip den gleichen Aufbau wie ein serieller Hybrid. Der Unterschied zum seriellen Hybrid ist, dass der Verbrennungsmotor nur zum Nachladen der Batterie verwendet wird. Bei rein elektrischem Fahren ist die Reichweite durch die Batteriekapazität begrenzt. Auf längeren Strecken sorgt der Verbrennungsmotor mit Generator (Range Extender = Reichweitenverlängerer) durch Nachladen der Batterie für eine größere Reichweite.

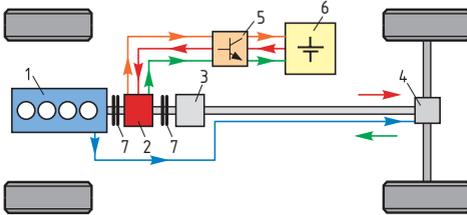
Zusätzlich zu den Bauteilen für den Elektroantrieb (siehe oben) enthält das System einen Verbrennungsmotor mit Generator. Der Verbrennungsmotor ist ein kleiner Hubkolbenmotor oder Kreis-Kolbenmotor. Bei Bedarf wird der Motor mit konstanter Last und Drehzahl betrieben. Der Kraftstoffverbrauch und der Schadstoffausstoß können für diesen Betriebspunkt optimiert werden.

Beispiele: BMW i3, optional Range Extender, Audi A1 e-tron

Einteilung der Hybridantriebe nach Anordnung der Antriebe

Paralleler Hybrid (P-HEV)

Bauart mit zwei Kupplungen



- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Motor-generator (E.-Motor/Generator)
- 3 Getriebe
- 4 Ausgleichsgetriebe
- 5 Inverter
- 6 Batterie
- 7 Kupplung

- Rekuperation/regeneratives Bremsen
- Elektrischer Antrieb
- Batterie laden
- Fahren mit Verbrennungsmotor

Parallel-Hybridantrieb (P-HEV, parallel hybrid electric vehicle): Der Verbrennungsmotor und der Elektromotor (Motorgenerator) können einzeln oder gleichzeitig (parallel) auf die Antriebsachse wirken und damit das Fahrzeug antreiben. Beide Motoren sind mechanisch mit den Antriebsrädern verbunden. Die beiden Motorleistungen addieren sich zu einer Gesamtantriebsleistung. Der Motorgenerator liegt zwischen dem Verbrennungsmotor und der Antriebsachse. Der Motorgenerator kann auch als Starter dienen.

Betriebszustände

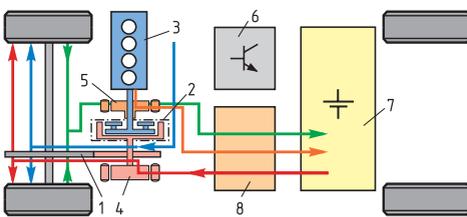
- Fahren mit Emissionen: Verbrennungsmotor treibt Fahrzeug an
- Fahren ohne Emissionen: Batterie ausreichend geladen, Batterie versorgt Elektromotor, z. B. Anfahren
- Drehmomentunterstützung, Verbrennungs- und Elektromotor treiben Fahrzeug gemeinsam an
- Rekuperation: Motorgenerator wird als Generator betrieben und lädt die Batterie

Bauarten

- mit einer Kupplung
- mit zwei Kupplungen
- mit Doppelkupplungsgetriebe
- Elektrifizierung einer separaten Achse (Axle Split)

Beispiele: Mercedes, Lexus RX400h, Honda Civic Hybrid

Leistungsverzweigter Hybrid



- Rekuperation/regeneratives Bremsen
- Elektrischer Antrieb
- Batterie laden
- Fahren mit Verbrennungsmotor

- 1 Achsantrieb
- 2 Verteilergetriebe (Kraftweiche)
- 3 Verbrennungsmotor
- 4 Motorgenerator (M/G)
- 5 Motorgenerator (M/G)
- 6 Steuergerät
- 7 HV-Batterie
- 8 Inverter

Leistungsverzweigter Hybridantrieb: Ist eine Kombination aus parallelem und seriellem Hybridantrieb. Ein Teil der Leistung des Verbrennungsmotors wird durch den Generator in elektrische Leistung umgewandelt. Der andere Teil der Verbrennungsmotorleistung treibt mit der zweiten elektrischen Maschine das Fahrzeug an. Der Elektroantrieb besteht aus zwei Motorgeneratoren und einem Verteilergetriebe. Das Verteilergetriebe, meist ein Planetengetriebe (Kraftweiche), ermöglicht die unterschiedlichen Betriebszustände.

Betriebszustände

- Antrieb durch den Verbrennungsmotor
- Antrieb durch beide Elektromotoren
- Antrieb durch Verbrennungs- und Elektromotor
- Antrieb durch den Verbrennungsmotor und einen Elektromotor und gleichzeitiges Laden der Batterie durch den anderen Motorgenerator

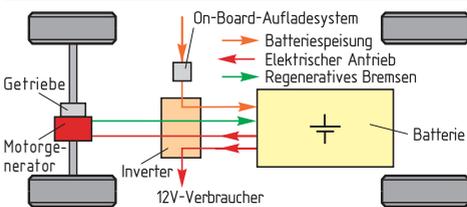
Beispiel: Toyota Prius

Plug-in-Hybrid: ist eine Erweiterung der Hybrid-Technik. Der elektrische Energiespeicher wird nicht mehr ausschließlich durch den Verbrennungsmotor oder Rekuperation geladen. Er

wird zusätzlich über das Stromnetz aufgeladen. Plug-in-Hybride findet man hauptsächlich bei parallelen oder leistungsverzweigten Hybridfahrzeugen.

Elektrofahrzeuge

Vollelektrischer Antrieb mit Batterie



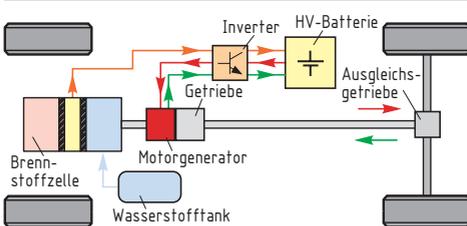
Bauteile, Funktionsweise

Das **On-Board-Aufladesystem** (Plug In) erzeugt zum Aufladen der Batterie Gleichstrom aus 230 V Wechselstrom bzw. aus 400 V Drehstrom.

Inverter (vgl. S. 6): Er wandelt den Gleichstrom aus der HV-Batterie in Wechselstrom zum Antrieb des Elektromotors. Spannung und Frequenz werden je nach Drehmoment- und Drehzahlwunsch des Fahrers geregelt. Beim regenerativen Bremsen wird aus dem Wechselstrom vom Motorgenerator (Generatorbetrieb) Gleichstrom zum Laden der Batterie erzeugt.

Motorgenerator: Kann als Motor oder Generator betrieben werden. **Getriebe:** Es reduziert die Drehzahl des Elektromotors z.T. mit zwei Getriebestufen. Es ermöglicht: „Vorwärts“, „Rückwärts“ und „Neutral“.

Vollelektrischer Antrieb mit Brennstoffzelle



Bauteile, Funktionsweise

Die **Brennstoffzelle** ist ein „On-Board-Kraftwerk“, mit dem das Fahrzeug komplett mit elektrischer Energie versorgt wird.

In der Brennstoffzelle reagieren Wasserstoff und Sauerstoff miteinander und erzeugen elektrische Energie und als „Abgas“ Wasserdampf. Mehrere Brennstoffzellen sind zu einem flüssigkeitsgekühlten Brennstoffzellenstapel zusammengefasst (vgl. S. 9).

Wasserstofftank: Der Wasserstoff wird in einem Druckbehälter (ca. 700 bar, ca. 150 Liter) an Bord des Fahrzeugs mitgeführt.

Inverter: Er wandelt den Gleichstrom aus dem Brennstoffzellenstapel in Wechselstrom zum Antrieb des Elektromotors (vgl. S. 6). **HV-Batterie:** Dient als Pufferspeicher, liefert zusätzliche Energie für den E-Motor beim Starten und Beschleunigen.

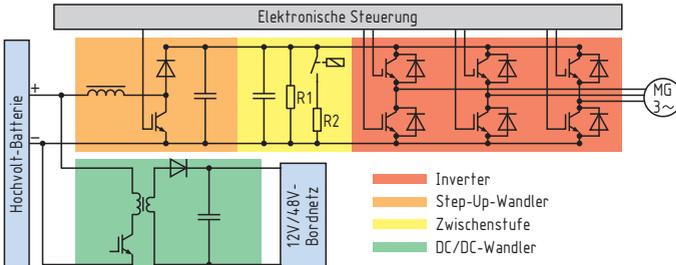
Motorgenerator: Kann als Motor oder Generator betrieben werden.

Getriebe: Reduziert die Drehzahl des Elektromotors.

- Regeneratives Bremsen
- Elektrischer Antrieb
- Batterie laden



Aufbau der Leistungselektronik (vereinfachtes Blockschaltbild)



Die Leistungselektronik eines Elektro- oder Hybridfahrzeugs steuert sämtliche Antriebs- und Ladefunktionen. Sie besteht aus dem *Inverter*, z.T. mit vorgeschaltetem *Step-up-Wandler*, der *Zwischenstufe* und dem *DC/DC-Wandler*. Die Baugruppen befinden sich meistens in einem gemeinsamen Gehäuse. Teilweise ist der DC/DC-Wandler aus Platzgründen in einem getrennten Gehäuse untergebracht. Da bei den elektrischen Umwandlungsprozessen Wärmeverluste entstehen, muss die Elektronikeinheit gekühlt werden. Sie ist daher an den Kühlkreislauf angeschlossen.

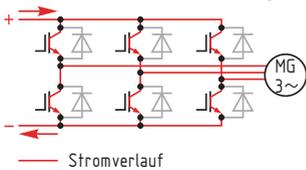
Aufgaben der Komponenten

Elektronische Steuerung	Das elektronische Steuergerät erhält Informationen über Drehmomentanforderung, Rotorstellung/Temperatur des E-Motors usw., wertet diese aus und steuert entsprechend die Aktoren in der Leistungselektronik an.	
Inverter (Pulswechselrichter)	Motorbetrieb: Erzeugung einer 3-Phasen-Wechselspannung aus der Gleichspannung der HV-Batterie für den Drehstrommotor.	Generatorbetrieb: Gleichrichtung der 3-Phasen-Wechselspannung zum Laden der HV-Batterie bei Rekuperation und bei externem Laden (vgl. S. 11).
Step-Up-Wandler (Ladepumpe)	Anheben der HV-Batteriespannung von z. B. 300 V auf eine Eingangsspannung des Inverters von z. B. 500 V. Dies ermöglicht bei Inverter und Motor eine geringere Stromstärke bei gleicher Ausgangsleistung.	
Zwischenstufe	Der Zwischenkreiskondensator dient als Speicher und verhindert Spannungsschwankungen, z. B. beim Anfahren. Nach Abstellen Entladung über R1 (hochohmig), bei Sicherheitsabschaltung über R2 (niederohmig).	
DC/DC-Wandler	Absenken der HV-Batteriespannung auf 12 V zur Versorgung des Bordnetzes und zum Laden der Bordnetz-batterie bzw. 48 V zur Versorgung eines 48 V-Teilbordnetzes.	

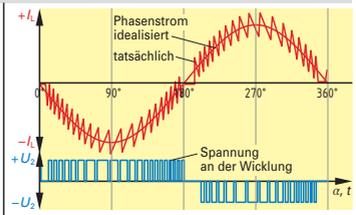
Funktionsweise der Komponenten

Inverter (Pulswechselrichter)

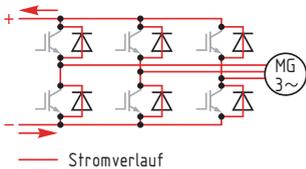
Motorbetrieb (DC/AC-Wandlung)



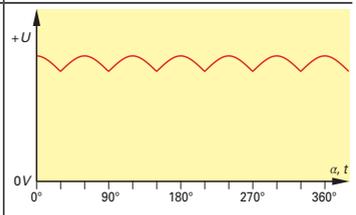
Die Drehstrom-Brückenschaltung (vgl. Abb. links) mit IGBT-Transistoren wandelt die HV-Gleichspannung in eine 3-Phasen-Wechselspannung für den Motor um. Die Dioden dienen als Freilaufdioden. Die mit PWM-Signalen angesteuerten IGBT-Transistoren schalten die HV-Spannung entsprechend auf die jeweilige Wicklung und es entsteht ein sinusähnlicher Stromverlauf (vgl. Abb. rechts). Die Frequenz der Wechselspannung bestimmt die Motordrehzahl. Die Pulsweiten bestimmen die Stromamplitude und damit das Motordrehmoment.



Generatorbetrieb (AC/DC-Wandlung)

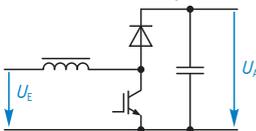


Die Umwandlung der 3-Phasen-HV-Wechselspannung des Generators in eine HV-Gleichspannung zum Laden der HV-Batterie erfolgt über die Dioden in der Drehstrom-Brückenschaltung (vgl. Abb. links). Die IGBT-Transistoren werden im Generatorbetrieb nicht angesteuert und sperren. Am Ausgang der Schaltung zur HV-Batterie liegt eine pulsierende Gleichspannung an (vgl. Abb. rechts). Die Gleichrichterschaltung arbeitet somit auf dieselbe Weise wie die eines herkömmlichen Drehstromgenerators (vgl. S. 234).



Step-Up-Wandler (Ladepumpe)

vereinfachter Schaltplan

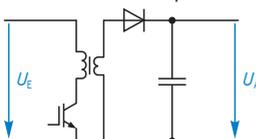


Das Anheben der HV-Batteriespannung U_E erfolgt mit der links abgebildeten Schaltung. Wird der IGBT-Transistor leitend, fließt Strom über die Spule und sie wird mit elektromagnetischer Energie aufgeladen. Unterbricht der IGBT-Transistor den Strom, entsteht eine hohe Selbstinduktionsspannung in der Spule. Die Spule wird dadurch zur Spannungs-

quelle und lädt über die Diode den Kondensator auf. Parallel zum Kondensator steht dadurch die angehobene Spannung U_A zur Verfügung. Je höher die zu erzielende Ausgangsspannung sein soll, desto höher muss die Schaltfrequenz gewählt werden, z. B. 50 kHz. Der Step-Up-Wandler ist optional und kommt nur vereinzelt zum Einsatz.

DC/DC-Wandler

vereinfachter Schaltplan



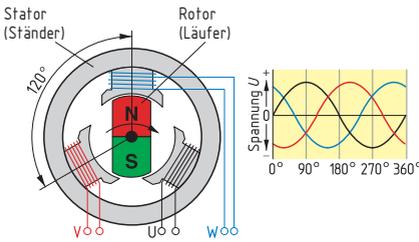
Zur Absenkung der HV-Batteriespannung auf die Bordnetzspannung wird aus Sicherheitsgründen ein DC/DC-Wandler mit galvanischer Trennung verwendet. Hierzu dient eine gekoppelte Speicherdrossel (Luftpalt im Kern). Funktionsprinzip: Über den IGBT-Transistor wird die HV-Eingangsspannung U_E mit hoher Frequenz aus- und eingeschaltet.

Die Drossel arbeitet nach dem Trafoprinzip und setzt entsprechend der geringeren Windungszahl auf der Sekundärseite die Spannung induktiv herab. Die Sekundärspannung wird anschließend gleichgerichtet und steht nach Glättung durch einen Kondensator als Ausgangsspannung U_A dem 12V/48V-Bordnetz zur Verfügung.

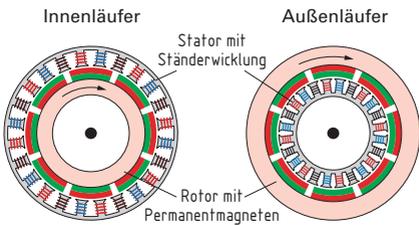
4

Drehstrom-Synchronmotor (permanentterregt)

Prinzipieller Aufbau



Bauformen



Bauteile (vgl. Abb. links oben)

- Stator mit 3-Phasen-Ständerwicklung
 - Rotor mit Permanentmagneten
- Nicht abgebildet:
- Rotorlagesensor (siehe unten)
 - Temperatursensor für den Überlastungsschutz

Bauformen (vgl. Abb. links unten)

- Innenläufer: Der Rotor läuft innerhalb des Stators.
- Außenläufer: Der Rotor läuft außerhalb des Stators.

Eigenschaften

- hoher Wirkungsgrad (> 90%)
- als Außenläufer hohes Drehmoment
- hoher Regelungsaufwand notwendig (z. B. Rotorlagesensor)
- Drehzahl von Belastung unabhängig
- teure seltene Erden für die Permanentmagnete notwendig

Motorgenerator

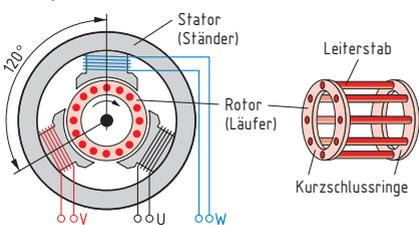
Der Drehstrom-Synchronmotor kann auch als Generator betrieben werden und beim Bremsen zum Laden der Batterie genutzt werden (Rekuperation).

Funktionsweise

An den drei um 120° versetzt angeordneten Wicklungen des Stators liegt jeweils eine Phase der 3-Phasen-Wechselspannung an (vgl. Abb. links oben). Der dadurch fließende Drehstrom erzeugt ein magnetisches Drehfeld, das den Rotor über das Permanentmagnetfeld mit gleicher Drehfrequenz (synchron) mitnimmt. Die größte Drehmomentwirkung am Rotor herrscht, wenn das Magnetfeld des Stators dem Magnetfeld des Rotors um 90° vorausliegt. Deshalb wird die Position des Rotors mit einem Lagesensor (siehe unten) erfasst und an das Steuergerät übermittelt. Dieses verschiebt die Phasenlage des Drehfeldes in den Ständerwicklungen so, dass in allen Betriebszuständen der optimale Winkel zwischen den Magnetfeldern eingehalten wird. Die Stärke des Motordrehmoments wird über die Stromamplitude bestimmt und die Motordrehzahl wird über die Frequenz der Wechselspannung gesteuert.

Drehstrom-Asynchronmotor

Prinzipieller Aufbau



Bauteile (vgl. Abb. links)

- Stator mit 3-Phasen-Ständerwicklung
 - Rotor mit Leiterstäben und Kurzschlussringen
- Nicht abgebildet:
- Temperatursensor für den Überlastungsschutz

Eigenschaften

- einfacher Aufbau
- Laufverhalten weniger dynamisch
- kleiner Luftspalt zwischen Rotor und Stator notwendig

Motorgenerator

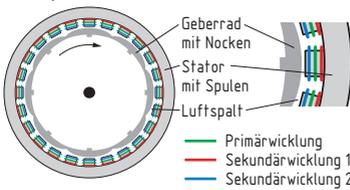
Der Drehstrom-Asynchronmotor kann auch als Generator betrieben werden und beim Bremsen zum Laden der Batterie genutzt werden (Rekuperation).

Funktionsweise

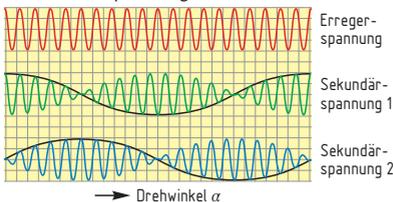
Das durch die 3-Phasen-Wechselspannung in der Ständerwicklung erzeugte Drehfeld induziert in den Leiterstäben des Rotors eine Spannung. Über die kurzgeschlossenen Leiterstäbe des Rotors fließt dadurch ein Strom, der das Rotor-Magnetfeld erzeugt. Die Überlagerung von Stator- und Rotor-Magnetfeld ergibt ein Drehmoment am Rotor. Voraussetzung für die Induktion in den Leiterstäben ist, dass sie sich relativ zum umlaufenden Stator-Magnetfeld bewegen. Deshalb dreht sich der Rotor immer etwas langsamer als das Drehfeld (asynchron). Die Motordrehzahl wird über die Frequenz der Wechselspannung gesteuert.

Rotorlagesensor (Resolver-Sensor)

Prinzipieller Aufbau Resolver-Sensor



Verlauf der Spannungen



Aufgabe

Um den permanentterregten Drehstrom-Synchronmotor als Fahrmotor in einem Elektro- oder Hybridfahrzeug betreiben zu können, muss die genaue Lage des Rotors zum Stator ermittelt werden (siehe Drehstrom-Synchronmotor, Funktionsweise). Dies erfolgt mit Hilfe des Rotorlagesensors. Hierfür kommen meistens Sensoren nach dem Resolverprinzip zum Einsatz.

Aufbau

Der induktiv arbeitende Resolver-Sensor (vgl. Abb. links) besitzt einen Stator mit in Reihe geschalteten Spulen. Die Spulen bestehen jeweils aus einer Primär- und zwei Sekundärwicklungen. Die Primärwicklung wird vom Steuergerät mit einer konstanten Erregerspannung (hochfrequente Wechselspannung) versorgt. Die beiden Sekundärwicklungen sind so angeordnet, dass die in ihnen induzierten Spannungen um 90° phasenverschoben sind. Das Geberrad sitzt auf dem Rotor des Drehstrom-Synchronmotors. Es verfügt über sinusförmige Nocken, die die Induktion in den Spulen beeinflussen.

Funktionsweise

Je nach Stellung des Geberrads ergibt sich ein unterschiedlicher Luftspalt zwischen den Nocken und dem Stator des Sensors. Dieser beeinflusst entsprechend die Höhe der induzierten Sekundärspannungen. Durch die Anordnung der Sekundärwicklungen 1 und 2 zueinander ergibt sich ein Phasenversatz der beiden Induktionsspannungen von 90° (vgl. Abb. links unten). Anhand des momentanen Verhältnisses ihrer Amplituden (Hüllkurven) errechnet die Auswertelektronik die Stellung des Geberrades im Stator des Sensors und damit die Winkelposition des Rotors im Motor. Dies ist auch bei Motorstillstand möglich.

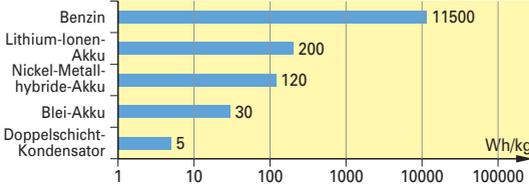
Werkstatthinweise

- Nach dem Austausch des Rotorlagesensors, des Drehstrommotors oder der Steuerelektronik muss der Rotorlagesensor über den Diagnosetester kalibriert werden.
- Bei fehlendem Signal des Rotorlagesensors wird der Drehstrommotor nicht angesteuert.



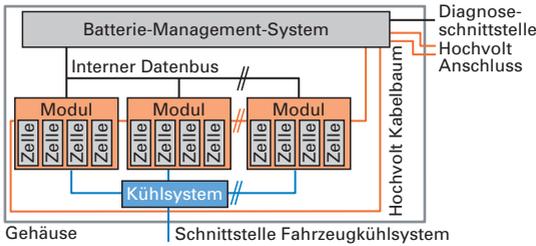
Energiespeicher

Vergleich: Energiegehalt von Energiespeichern



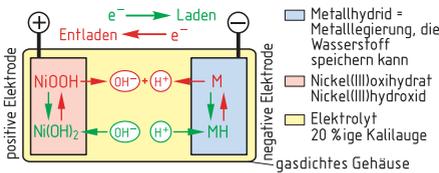
Im Diagramm ist die Energiedichte in Wh/kg für unterschiedliche Energiespeicher mit einer logarithmischen X-Achse dargestellt. Als Energiespeicher werden in Elektrofahrzeugen, Plug-in-Hybrid- und Hybridfahrzeugen heute in der Regel Lithium-Ionen-Akkus (Li-Ionen) verwendet. Stellenweise werden auch noch Nickel-Metall-Hybrid Akkus (NiMH) verbaut. Blei-Akkus werden noch als Starterbatterien verwendet. Kondensatoren werden hauptsächlich eingesetzt, um Stromspitzenbelastungen der HV-Batterie und elektromagnetische Störwellen zu vermeiden. Die Antriebsbatterie macht bis zu 60% des Gewichts, der Größe und der Kosten aller elektrischen Bauteile im kompletten Fahrzeugantriebsstrang aus.

Aufbau von HV-Batteriesystemen



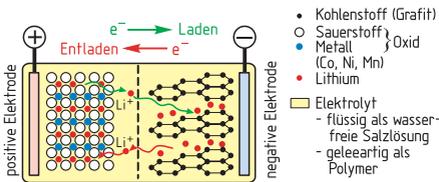
Aufgrund jeweils unterschiedlicher technischer Anforderungen und auch individueller Einbausituationen im Fahrzeug unterscheiden sich HV-Antriebsbatterien in ihrem inneren Aufbau voneinander. Die meisten besitzen jedoch ein ähnliches Grundkonzept. Das Batteriesystem (vgl. Abb. links) besteht in der Regel aus mehreren Modulen. Die Module wiederum bestehen aus mehreren Batteriezellen. Die Zellen sind in Reihe geschaltet und ergeben die Modulspannung. Die Module sind ebenfalls in Reihe geschaltet und über den Hochvolt-Kabelbaum miteinander verbunden. Das ergibt die Gesamtspannung der HV-Batterie. Die Module sind gemeinsam mit dem Batteriemanagementsystem und dem Kühlsystem im Batteriegehäuse integriert. Die Schnittstellen zum Fahrzeug sind die Hochvoltanschlüsse, die Diagnoseschnittstelle und der Anschluss an das Kühlsystem.

Nickel-Metall-Hybrid-Batteriezelle (NiMH)



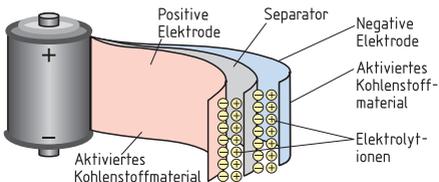
Entladen: Die negative Elektrode gibt Wasserstoffionen (Protonen) und Elektronen ab. An der positiven Elektrode wird Ni(III)OOH (Nickel 3-wertig) zu Ni(II)(OH)₂ (Nickel 2-wertig) reduziert und gibt OH-Ionen ab. Die Elektronen fließen über den externen Stromkreis zur positiven Elektrode. Die Wasserstoffionen verbinden sich mit den OH-Ionen zu H₂O. Es entsteht Wasser.
Laden: Die negative Elektrode nimmt Wasserstoffionen (Protonen) und Elektronen auf. An der positiven Elektrode wird Ni(II)(OH)₂ zu Ni(III)OOH oxidiert.
 Zellennennspannung 1,2 V, Energiedichte bis 120 Wh/kg (vgl. S. 237) Bei tiefen Temperaturen entweicht der Wasserstoff verzögert aus der negativen Elektrode, dadurch ist ein geringerer Energiefluss möglich.

Lithium-Ionen-Batteriezelle (Li-Ionen)



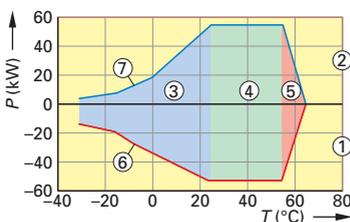
Entladen: Lithiumatome geben an der negativen Elektrode ein Elektron ab, welches über den externen Stromkreis zur positiven Elektrode fließt. Die Lithiumionen wandern durch den Elektrolyt zur positiven Elektrode und werden dort gespeichert.
Laden: Beim Ladevorgang wird die externe Stromrichtung umgekehrt, die Lithiumionen wandern von der positiven Elektrode zur negativen Elektrode. Dort werden sie durch das zugeführte Elektron zum Lithiumatom.
 Zellenspannung 3,6 V, Energiedichte bis 200 Wh/kg (vgl. S. 237) Lithium-Ionen-Batterien müssen bei hoher Stromentnahme gekühlt werden. Sie dürfen bei Brand nicht mit Wasser gelöscht werden.

Doppelschicht-Kondensator (EDCL)



EDCL (electrochemical double layer capacitor), auch Supercaps oder Ultracaps genannt, haben die höchste Energiedichte aller Kondensatoren. Ihre hohe Kapazität basiert auf der Aufspaltung von Molekülen eines flüssigen Elektrolyten in positive und negative Ionen (Dissoziation). Diese bilden ein Dielektrikum von wenigen Atomlagen mit einer großen Oberfläche. Die Energie wird im Gegensatz zu elektrochemischen Energiespeichern (Batterie) elektrostatisch in Form von getrennten Ladungen gespeichert. Betriebsspannung 2,5 V, Energiedichte bis ca. 5 Wh/kg (vgl. S. 237), ca. 10-mal schnellere Energieaufnahme und -abgabe als bei Lithium-Ionen-Batterien, hohe Lebensdauer. Hohe Aufnahmemströme ermöglichen große rekuperative Bremsleistung, hohe Abgabeströme ermöglichen große Boost-Leistung.

Thermomanagement von Batteriesystemen

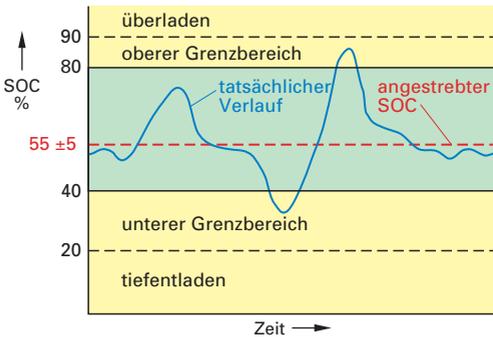


1. Ladebereich
2. Entladebereich
3. Temperatur zu niedrig
4. Temperatur optimal
5. Temperatur zu hoch
6. max. Leistung beim Laden
7. max. Leistung beim Entladen

Damit die HV-Batterie sicher und zuverlässig betrieben werden und die Lebensdauer der Batteriezellen maximiert werden kann, sollte die Temperatur der Zellen zwischen 25 °C und 55 °C sein (Bereich 4). Um diesen Temperaturbereich zu gewährleisten, gibt es aktuell drei Möglichkeiten: Die Batterie wird flüssigkeitsgekühlt über einen eigenen Kühlkreislauf. Sie wird über den Kältemittelkreislauf der Fahrzeugklimaanlage gekühlt. Die kostengünstigste Möglichkeit ist die Luftkühlung, die mit einem Lüftergebläse arbeitet.

HV-Batterie laden

Verlauf des Ladezustands

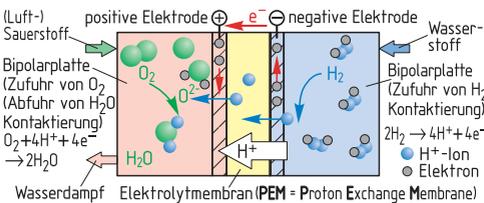


Der Ladezustand SOC (engl.: state of charge) einer HV-Batterie sollte idealerweise zwischen 50 und 80% liegen. Grundsätzlich gilt, dass die Batterie durch zyklisches Laden und Entladen altert und auf Dauer geschädigt wird. Dies gilt vor allem, wenn sich der SOC außerhalb des idealen Ladezustandes befindet (tiefentladen oder überladen). Daraus ergeben sich unterschiedliche Ladestrategien für die HV-Batterien.

In einer HV-Batterie gibt es niedrig und hoch geladene Batteriezellen. Die niedrig geladenen Batteriezellen legen die Entlade-grenze der HV-Batterie fest. Die unterschiedlichen Ladezustände einzelner Batteriezellen einer HV-Batterie entstehen aufgrund von Nutzung, Temperatur oder Zellaalterung. Sie müssen durch das Batteriemangement ausgeglichen werden. Dazu werden die einzelnen Batteriezellenspannungen überwacht und einzelne Zellen gegebenenfalls über einen Widerstand entladen, um alle Zellen in den gleichen Ladezustand zu bringen. Erst wenn dieser Prozess abgeschlossen ist, kann mit dem Laden der Batterie begonnen werden. Ansonsten werden die hoch geladenen Zellen überladen und somit zerstört.

Brennstoffzellensystem

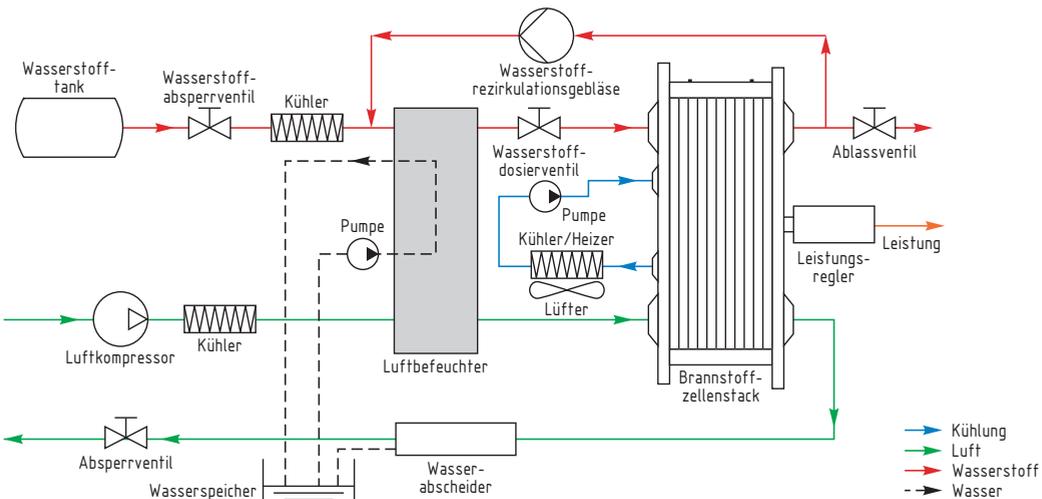
Funktionsprinzip der Brennstoffzelle



An der negativen Elektrode wird Wasserstoff (H₂) aus dem Wasserstoffhochdrucktank zugeführt und in positive Wasserstoffionen (Protonen, H⁺) und Elektronen (e⁻) zerlegt. Durch die PEM (nur Protonen leitende Membran) können nur Protonen auf die andere Seite der Zelle zur positiven Elektrode gelangen. Für die Elektronen ist die Membran unpassierbar. Verbindet man negative und positive Elektrode über einen Verbraucher, so fließt ein (Elektronen-) Strom zur positiven Elektrode. Dort verbindet sich Sauerstoff, Wasserstoffion und Elektron zu Wasser.

Die Zellenspannung liegt bei ca. 0,6 V. Durch eine Reihenschaltung erhält man die für den Fahrzeugantrieb notwendige hohe Spannung. Der so entstandene Brennstoffzellenstack liefert eine Spannung von bis zu 450 V.

Systemaufbau



Das **Luftmanagementsystem** liefert den Sauerstoff, den der Brennstoffzellenstack zur Erzeugung von Elektrizität benötigt. Es besteht aus dem Luftkompressor, dem Kühler, dem Luftbefeuchter, dem Wasserabscheider und dem Absperrventil. Der Luftkompressor pumpt die Luft über den Kühler und den Luftbefeuchter in den Brennstoffzellenstack. Wird nicht ausreichend Luft zugeführt, sinkt die Spannung im Stack, und die Ausgangsleistung kann um mehr als 20% sinken. Nach Nutzung des Luftsauerstoffs gibt der Stack die verbrauchte Luft zusammen mit Wasserdampf ab. Das mitgeführte Wasser wird am Wasserabscheider abgeschieden. Am Absperrventil wird die Luft abgelassen.

Das **Kraftstoffmanagementsystem** (Wasserstoffzuführungssystem) liefert dem Stack den Wasserstoff zur Erzeugung der Elektrizität. Es besteht aus dem Absperrventil, dem Kühler, dem Wasserstoffdosiersystem und dem Rückführungssystem. Das

Absperrventil gibt den Wasserstoff frei oder sperrt. Der Kühler senkt die Temperatur des Wasserstoffs, bevor dieser über das Wasserstoffdosierventil in die Brennstoffzelle eingeleitet wird. Je höher die Stromstärke im Stack, desto höher ist der Druck. Das Rückführungssystem leitet den überschüssigen Wasserstoff wieder zum Stack zurück. Am Ablasventil können entstandene Fremd-gase abgelassen werden.

Das **Temperaturmanagementsystem** hält die Betriebstemperatur für die Brennstoffzelle im optimalen Bereich. Es führt die Wärme ab, die bei dem elektrochemischen Umwandlungsprozess entsteht. Es besteht aus der elektrischen Kühlmittelpumpe für den Stack, dem Kühler-/Heizermodul mit Lüfter. Die Kühlmittelpumpe pumpt das Kühlmittel durch den Kühlkreislauf. Sie wird mit über 250 V betrieben. Der Kühler entzieht dem Kühlmittel die Wärme. Das Kühler-/Heizermodul erwärmt bei Kaltstart den Stack und den Innenraum.



Ladesteckertypen

Normalladen und Schnellladen

Die Definitionen für Normal- und Schnellladen sind in der EU-Richtlinie 2014 / 94 / EU „Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe“ definiert und ergeben sich einzig aus den beim Lade-

vorgang angewendeten Ladeleistungen. So werden alle AC-Ladevorgänge mit einer Ladeleistung von bis zu 22 kW als Normalladen klassifiziert, Ladevorgänge mit höheren Leistungen werden als AC- oder DC-Schnellladen bezeichnet.

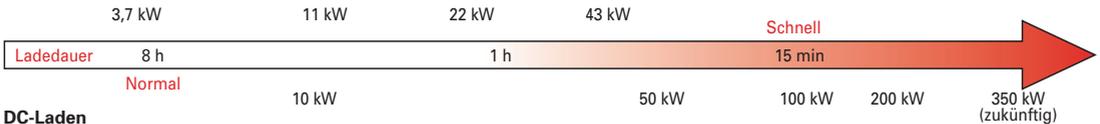
Ladeschnittstelle	Typ 2		Combo 2
	 Stecker Ladekabel	 Ladedose Fahrzeug	 Stecker Ladekabel
		 Ladedose Fahrzeug	 Ladedose Fahrzeug
Ladeart	Laden mit Wechselstrom AC-Normalladen 1-phasiges AC-Laden	Laden mit Wechselstrom AC-Schnellladen 3-phasiges AC-Laden	Laden mit Gleichstrom DC-Schnellladen
Ladeleistung	≤ 22 kW	> 22 kW, max. 43 kW bei 3 Phasen	> 22 kW, max. 200 kW zukünftig 350 kW
Normen/Kommunikation		IEC 62196-2 IEC 61851-1 ISO 15118	IEC62196-3 ISO 15118 DIN SPEC 70121.

Kombinierte Ladesysteme (Combined Charging System CCS)

Das Combined Charging System (CCS) ist ein offenes, universelles Ladesystem für Elektrofahrzeuge, das auf den internationalen Standards der IEC-61851-Reihe für Ladeinfrastruktur und den Standards für Ladesteckverbinder nach IEC 62196 aufbaut. Das CCS vereint einphasiges Laden bis schnelles dreiphasiges Wechselstromladen (max. 43 kW) und bietet sehr schnelles Gleich-

stromladen (bis 200 kW und zukünftig bis 350 kW) in einem einzigen System. Als System beinhaltet das CCS sowohl die Stecker als auch die Kontrollfunktionen und die Kommunikation zwischen Elektrofahrzeug und Infrastruktur und bietet die Lösung für alle erforderlichen Ladeszenarien an.

AC-Laden 1-3 Phasen



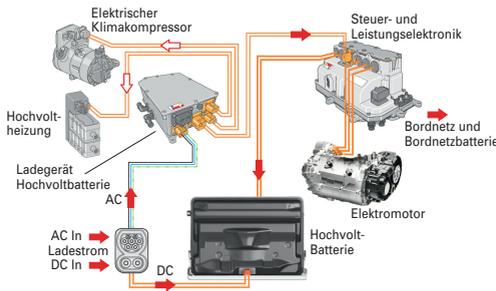
DC-Laden

Ladebetriebsarten

Das kabelgebundene Laden von Elektrofahrzeugen kann in unterschiedlichen Ladebetriebsarten erfolgen, die in der Systemnorm DIN EN 61851-1 (VDE 0122-1) definiert worden sind.

Ladebetriebsart	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Induktiv
Ladestrom	Wechselstrom AC	Wechselstrom AC	Wechselstrom AC	Gleichstrom DC	Wechselstrom AC
Anschluss energeseitig	Schuko- oder CEE-Stecker	Schuko- oder CEE-Stecker	Typ 2	festes Kabel an der Ladestation	—
Anschluss fahrzeugseitig	Typ 2	Typ 2	Typ 2	Typ 2 oder Combo 2 (CCS)	—
Ladestrom/-leistung einphasig	max. 16 A	max. 32 A bis 7,2 kW	max. 16 A, bis 3,7 kW	max. 200 kW zukünftig bis 350 kW bis 22 kW	max. 16 A 3,7 kW
Ladestrom/-leistung dreiphasig	max. 16 A	max. 32 A bis 22 kW	max. 63 A bis 43 kW		bis 22 kW
Kommunikation	—	Modul im Ladekabel	Modul in Ladestation	Modul in Ladestation	—
Verriegelung	im Fahrzeug	im Fahrzeug	Fahrzeug und Ladesteckdose	im Fahrzeug	—
Schutzeinrichtungen	FI-Schutzschalter, RCD (Residual Current Device)	in Ladeleitung Steuer- und Schutz- einrichtung („In Cable Control and Protection Device“ IC-CPD)	in Ladestation FI-Schutzschalter, RCD (Residual Current Device) integriert	in Ladestation integriert	—

Ladevorgang



Beim AC-Laden und DC-Laden sind immer alle Steuergeräte aktiv. Während des Ladevorgangs wird das 12 V- bzw. 48 V- Bordnetz ebenfalls versorgt und die Bordnetz-Batterie geladen.

Beim DC-Laden wird die HV-Batterie direkt geladen. Beim AC-Laden fließt der Wechselstrom über das Ladegerät der Hochvolt-Batterie zur Steuer- und Leistungselektronik. Dort wird der Wechselstrom im Inverter gleichgerichtet und der entstandene Gleichstrom kann dann die HV-Batterie laden.

Das Ladegerät regelt die Ladung der Hochvolt-Batterie. Es wird vom Steuergerät für das Hochvolt-Batterieladegerät gesteuert. Die Einstellung des maximalen Ladestroms und die Einstellung der unteren Batterieladegrenze (vgl. S. 10) durch das Batteriemangement haben einen sehr großen Einfluss auf die Ladezeit und die verbleibende Reichweite des Fahrzeugs.

Ein intern verbauter Netzverteiler versorgt die Hochvoltheizung und den elektrischen Klimakompressor. Somit kann auch während des Ladebetriebs die Klimatisierung aufrechterhalten werden.

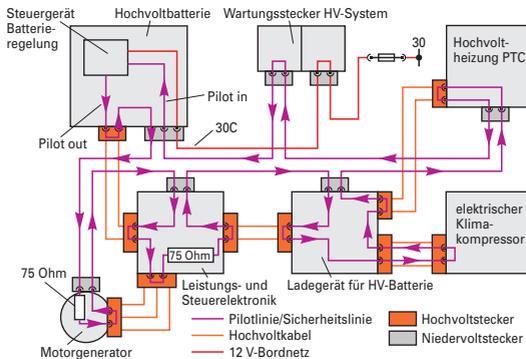
Sicherheitskonzept

Bei unsachgemäßer Handhabung geht vom Hochvolt-System des HV-Fahrzeugs aufgrund der hohen Spannung eine Gefährdung aus. Um diese Gefährdung zu senken und unsachgemäße Arbeiten an der Anlage oder einen unbeabsichtigten Kontakt mit der Hochspannung zu vermeiden, verfügen HV-Fahrzeuge über ein umfassendes Sicherheitskonzept. Das Steuergerät für die Batterieregelung ist verantwortlich für alle Sicherheitsfunktionen.

Zu den Komponenten des Sicherheitskonzeptes gehören z.B.:

- die elektrische Sicherheitslinie mit Sicherheitssteckern an den HV-Komponenten (siehe unten),
- das Zündschloss (gibt Schutzrelais in der HV-Batterie frei),
- Isolated Terra (IT-Netz mit Potentialausgleich (s. unten)
- das Schutzrelais in der E-Box der HV-Batterie (s. unten),
- das Airbagsteuergerät (löst beim Crash das Schutzrelais aus),
- der Wartungsstecker (siehe unten).

Sicherheitslinie (Pilotlinie, Interlock), Schutzrelais



Aufgabe

Die Sicherheitslinie oder Pilotlinie bzw. Interlock gewährleistet, dass das komplette Hochvolt-Netz spannungslos geschaltet wird, sobald ein Hochvoltbauteil vom Netz getrennt wird.

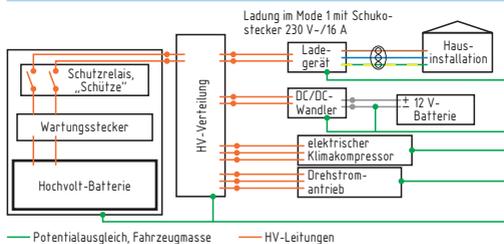
Funktionsweise

Alle Bauteile des Hochvolt-Netzes sind über die separate Sicherheitslinie als Ringleitung miteinander verbunden. Die Verbindung eines Bauteils mit der Sicherheitslinie ist als Unterbrecherkontakt ausgeführt. Sind alle Bauteile betriebsbereit, sind die Unterbrecherkontakte geschlossen.

Das Steuergerät für Batterieregelung in der E-Box legt eine Spannung an die Sicherheitslinie und bei geschlossener Sicherheitslinie fließt ein Prüfstrom von ca. 10 mA. Daraufhin steuert es die Schutzrelais an, die das Hochvolt-Netz mit der HV-Batterie verbinden. Die beiden Schutzrelais (Schütze) befinden sich z.B. in der E-Box oder direkt im Batteriegehäuse.

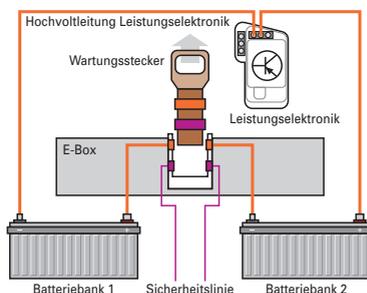
Wird die Sicherheitslinie an einer Stelle unterbrochen, kann kein Prüfstrom mehr fließen. Das Steuergerät für Batterieregelung steuert daraufhin die Schutzrelais nicht mehr an. Das HV-Netz wird von der HV-Batterie abgetrennt und ist spannungslos.

Isolated Terra (IT-) Netz mit Potentialausgleich



Isolated Terra (IT-) Netz mit Potentialausgleich: Die HV-Plus- und HV-Minus-Leitungen sind gegenüber der Karosserie (Masse) isoliert (Spannungsquelle ist nicht geerdet). Tritt an einer HV-Leitung ein Isolationsfehler auf, kann bei Berührung somit kein Stromkreis über Masse geschlossen werden. Die Berührung ist deshalb ungefährlich. Die leitenden Gehäuse der HV-Bauteile sind über Potentialausgleichsleitungen mit der Masse verbunden (geerdet). Bei Isolationsfehlern zwischen HV-Leiter und Gehäuse fließt ein hoher Strom über die Potentialausgleichsleitungen zur Masse und die HV-Sicherung löst aus. Ist eine automatische Isolationskontrolle verbaut, überwacht diese ständig den Isolationswiderstand der HV-Leiter. Durch die Sicherheitslinie und eine geeignete HV-Steckerkonstruktion ist das System vor Lichtbögen geschützt.

Wartungsstecker (Servicestecker, Service Disconnect)



Aufgabe

Der Wartungsstecker ist die Verbindung zwischen den beiden Batteriebanken der Hochvolt-Batterie. Beim Ziehen des Steckers wird die Verbindung unterbrochen und das Hochvolt-System ist dann spannungsfrei (= freigeschaltet). Er wird gezogen, wenn an Hochvolt-Komponenten oder in deren Nähe gearbeitet werden muss. Zur Wiederinbetriebnahme des Hochvolt-Systems wird der Wartungsstecker wieder eingesteckt.

Freischaltvorgang (Beispiel)

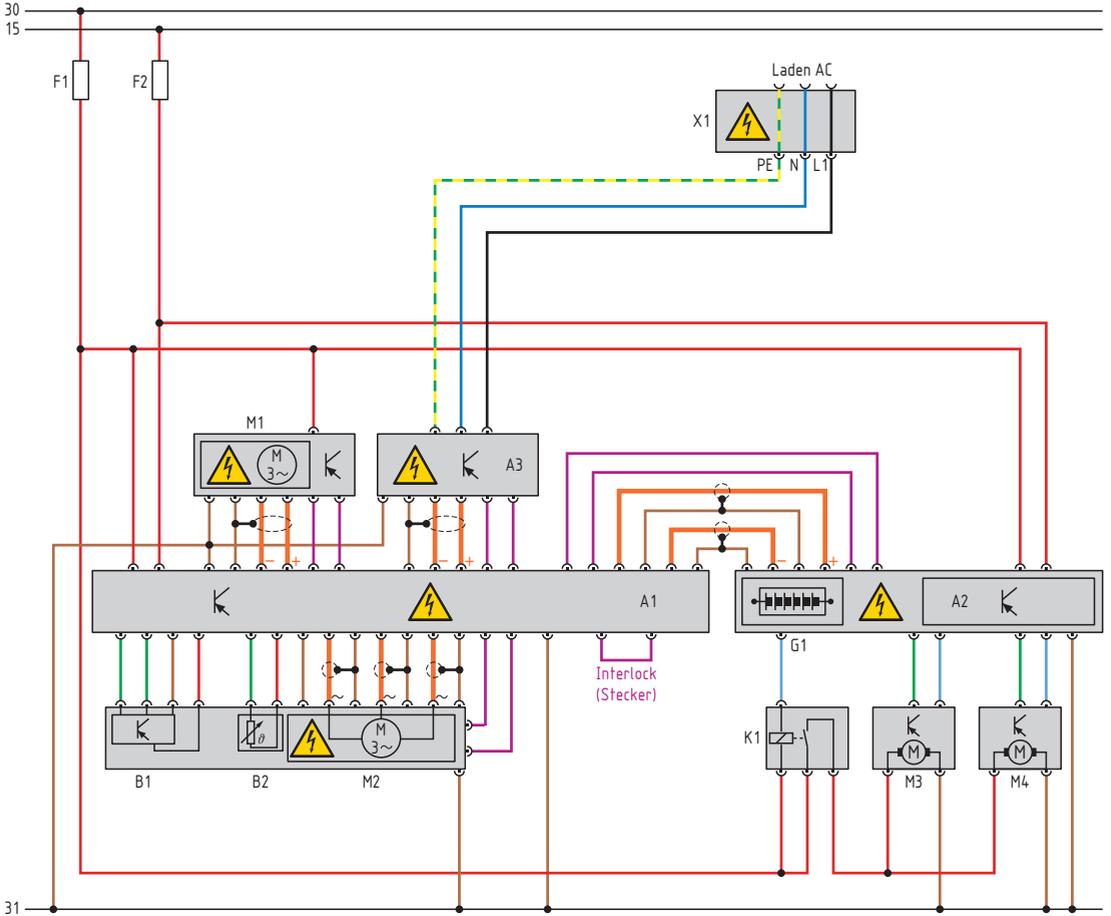
- Entfernen der Abdeckung
- Entriegeln und Steckeroberseite nach oben klappen
- Wartungsstecker aus der Halterung ziehen
- Gegen Wiedereinstecken/Wiedereinschalten sichern
- Spannungsfreiheit überprüfen

Achtung: Nur qualifizierte Personen dürfen ein Hochvolt-System freischalten. Herstellervorgaben sind zu beachten.

4

Stromlaufplan: Hochvoltssystem eines Plug-in-Hybrid-Pkw (vereinfachte Prinzipdarstellung)

4



- Hochvolt-Leitung
- Interlock (Sicherheitslinie)
- Plusleitung 12 V
- Masse/Abschirmung
- Aktor-Ansteuerung (Masse)
- Sensorleitung
- Ladeleitung PE
- Ladeleitung N
- Ladeleitung L1

Kennzeichen	Gerät
A1	Inverter (Leistungselektronik)
A2	Batterie-Management
A3	Ladegerät
B1	Rotorlagesensor Antriebsmotor
B2	Temperatursensor Antriebsmotor
F1, F2	Sicherungen
G1	Hochvolt-Batterie

Kennzeichen	Gerät
K1	Relais Lüftermotoren für HV-Batterie
M1	elektrischer Klimakompressor
M2	Motorgenerator (E-Maschine)
M3	Lüfter 1 für HV-Batterie
M4	Lüfter 2 für HV-Batterie
X1	Ladesteckdose

AC/DC-Wandlung	6	HV-Batterie	8	Range Extender	4
AC-Laden	10	HV-Batterie laden	9	Regeneratives Bremsen	3
Antriebsmotoren	7	Hybridantrieb	3	Resolversensor	7
Asynchronmotor	7	Innenläufer	7	Rotorlagesensor	7
Außenläufer	7	Interlock	11	Schütz	11
Batterie	8	Inverter	6	Schutzrelais	11
Batterie-Management-Systeme	8	Isolated Terra Netz	11	Serieller Hybrid	4
Batteriesysteme	8	IT-Netz	11	Service Disconnect	11
Boost-Funktion	3	Ladearten	10	Servicestecker	11
Brennstoffzelle	5, 9	Ladebetriebsarten	10	Sicherheitskonzept	11
Combined Charging System (CCS) ..	10	Ladepumpe	6	Sicherheitslinie	11
Combo 2 Stecker	10	Ladeschnittstellen	10	Sicherheitsstecker	11
DC/AC-Wandlung	6	Ladesteckertypen	10	Start-Stopp	3
DC/DC-Wandler	6	Ladesysteme	10	State of charge (SOC), HV-Batterie ..	9
DC-Laden	10	Ladevorgang	11	Steckertypen	10
Doppelschicht-Kondensator	8	Ladezustand, HV-Batterie	9	Step-Up-Wandler	6
Drehmomentunterstützung	3	Leistungselektronik	6	Supercaps	8
Drehstrom-Asynchronmotor	7	Leistungsverzweigter Hybrid	5	Synchronmotor	7
Drehstrom-Synchronmotor	7	Lithium-Ionen-Batteriezele	8	Thermomanagement (Batterie-	
Elektrischer Antrieb	3	Micro-Hybrid	3, 4	systeme)	8
Elektrisches Fahren	3	Mild-Hybrid	3, 4	Typ 2 Stecker	10
Emissionsvergleich	3	Motorgenerator	7	Ultracaps	8
Energiespeicher	8	Nickel-Metall-Hybrid-Batteriezele ..	8	Vollelektrischer Antrieb	3, 5
Freischaltvorgang	11	Parallel Hybrid	5	Wartungsstecker	11
Full-Hybrid	3	Permanenterregter Synchronmotor ..	7	Zwischenstufe	6
		Pilotlinie	11		
		Plug-in-Hybrid	5		
		Potentialausgleich	11		
		Pulswechselrichter	6		

3510