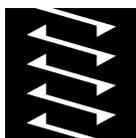


Konrad Reif (Hrsg.)

Batterien, Bordnetze und Vernetzung

Mit 178 Abbildungen

Bosch Fachinformation Automobil



VIEWEG+
TEUBNER

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Der Inhalt dieses Buches erschien bisher unter den Titeln:
Batterien und Bordnetze
Vernetzung im Kraftfahrzeug
herausgegeben von der Robert Bosch GmbH, Plochingen

1. Auflage 2010

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2010

Lektorat: Christian Kannenberg | Elisabeth Lange

Vieweg+Teubner Verlag ist eine Marke von Springer Fachmedien.

Springer Fachmedien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.

www.viewegteubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg

Technische Redaktion: Gabriele McLemore

Satz: FROMM MediaDesign, Selters/Ts.

Druck und buchbinderische Verarbeitung: MercedesDruck, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Germany

ISBN 978-3-8348-1310-7

Vorwort

Die Technik im Kraftfahrzeug hat sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Der Einzelne, der beruflich mit dem Thema beschäftigt ist, muss immer mehr tun, um mit diesen Neuerungen Schritt zu halten. Mittlerweile spielen viele neue Themen der Wissenschaft und Technik in Kraftfahrzeugen eine große Rolle. Dies sind nicht nur neue Themen aus der klassischen Fahrzeug- und Motorentechnik, sondern auch aus der Elektronik und aus der Informationstechnik. Diese Themen sind zwar für sich in unterschiedlichen Publikationen gedruckt oder im Internet dokumentiert, also prinzipiell für jeden verfügbar; jedoch ist für jemanden, der sich neu in ein Thema einarbeiten will, die Fülle der Literatur häufig weder überblickbar noch in der dafür verfügbaren Zeit lesbar. Aufgrund der verschiedenen beruflichen Tätigkeiten in der Automobil- und Zulieferindustrie sind zudem unterschiedlich tiefe Ausführungen gefragt.

Gerade heute ist es so wichtig wie früher: Wer die Entwicklung mit gestalten will, muss sich mit den grundlegenden wichtigen Themen gut auskennen. Hierbei sind nicht nur die Hochschulen mit den Studienangeboten und die Arbeitgeber mit Weiterbildungsmaßnahmen in der Pflicht. Der rasche Technologiewechsel zwingt zum lebenslangen Lernen, auch in Form des Selbststudiums.

Hier setzt die Schriftenreihe „Bosch Fachinformation Automobil“ an. Sie bietet eine umfassende und einheitliche Darstellung wichtiger Themen aus der Kraftfahrzeugtechnik in kompakter, verständlicher und praxisrelevanter Form. Dies ist dadurch möglich, dass die Inhalte von Fachleuten verfasst wurden, die in den Entwicklungsabteilungen von Bosch an genau den dargestellten Themen arbeiten. Die Schriftenreihe ist so gestaltet, dass sich auch ein Leser zurechtfindet, für den das Thema neu ist. Die Kapitel sind in einer Zeit lesbar, die auch ein sehr beschäftigter Arbeitnehmer dafür aufbringen kann.

Die Basis der Reihe sind die fünf bewährten, gebundenen Fachbücher. Sie ermöglichen einen umfassenden Einblick in das jeweilige Themengebiet. Anwendungsbezogene Darstellungen, anschauliche und aufwendig gestaltete Bilder ermöglichen den leichten Einstieg. Für den Bedarf an inhaltlich enger zugeschnittenen Themenbereichen bietet die siebenbändige broschiierte Reihe das richtige Angebot. Mit deutlich reduziertem Umfang, aber gleicher detaillierter Darstellung, ist das Hintergrundwissen zu konkreten Aufgabenstellungen professionell erklärt. Die schnelle Bereitstellung zielgerichteter Information zu thematisch abgegrenzten Wissensgebieten sind das Kennzeichen der 92 Einzelkapitel, die als pdf-Download zur sofortigen Nutzung bereitstehen. Eine individuelle Auswahl ermöglicht die Zusammenstellung nach eigenem Bedarf.

Im Laufe der Neukonzeption dieser Schriftenreihe ist es nicht möglich, alle Produkte gleichzeitig inhaltlich neu zu bearbeiten. Dies geschieht demnach Zug um Zug.

Der vorliegende Band „Batterien, Bordnetze und Vernetzung“ behandelt Energiebordnetze, Starterbatterien, Schaltzeichen und Schaltpläne, elektromagnetische Verträglichkeit, Vernetzung, Bussysteme und Architekturen elektronischer Systeme. Er setzt sich aus den früheren gelben Heften „Batterien und Bordnetze“ und „Vernetzung“ in der bisherigen Form zusammen. Eine inhaltliche Neubearbeitung wird folgen. Neu erstellt wurde das Stichwortverzeichnis, um die Inhalte dieses Buchs rasch zu erschließen.

Inhaltsverzeichnis

Energiebordnetze

Elektrische Energieversorgung	10
Bordnetzstrukturen	18
Elektrisches Energiemanagement (EEM)	21
Bordnetzkenngrößen	26
Bordnetzauslegung	29
Kabelbäume	31
Steckverbindungen	33

Starterbatterien

Aufgaben und Anforderungen	36
Aufbau	38
Arbeitsweise	43
Batterieausführungen	47
Kenngößen der Batterie	54
Typenbezeichnungen	58
Praxis- und Labortests von Batterien	59
Batteriewartung	63

Schaltzeichen und Schaltpläne

Schaltzeichen	70
Schaltpläne	78
Kennzeichnung von elektrischen Geräten	89
Klemmenbezeichnungen	91

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und Funkentstörung

EMV-Bereiche	94
EMV zwischen verschiedenen Systemen im Kraftfahrzeug	95
EMV zwischen Fahrzeug und Umgebung	102
Sicherstellung der Störfestigkeit und Funkentstörung	106

Grundlagen der Vernetzung

Netzwerktopologie	108
Netzwerkorganisation	112
OSI-Referenzmodell	114
Steuerungsmechanismen	116

Vernetzung im Kfz

Systemübergreifende Funktionen	120
Anforderungen an Bussysteme	121
Klassifizierung von Bussystemen	123
Einsatzgebiete im Kfz	123
Kopplung von Netzwerken	125
Beispiele vernetzter Fahrzeuge	125

Bussysteme

CAN-Bus	134
LIN-Bus	148
Bluetooth	154
MOST-Bus	164
TTP/C	175
FlexRay	188
Diagnoseschnittstellen	200

Architektur elektronischer Systeme

Übersicht	208
Architekturmethode elektronischer Systeme	211
Zusammenfassung und Ausblick	219
Abkürzungen	220
Sachwortverzeichnis	223

Autorenverzeichnis

Batterien und Bordnetze

Autoren

Dipl.-Ing. Clemens Schmucker,
 Dipl.-Ing. Reinhard Meyer (Energiebordnetze),
 Dipl.-Ing. Clemens Schmucker (Elektrisches
 Energiemanagement),
 Dipl.-Ing. Markus Beck,
 Dipl.-Ing. (FH) Bernd Moosmann (Bordnetz-
 auslegung),
 Dipl.-Ing. Wolfgang Kircher,
 Dipl.-Ing. Werner Hofmeister (Kabelbäume),
 Dipl.-Ing. Andreas Simmel (Steckverbindungen),
 Dipl.-Ing. Ingo Koch (Starterbatterien),
 Dr.-Ing. Wolfgang Pfaff (Elektromagnetische
 Verträglichkeit)

Vernetzung im Kraftfahrzeug

Autoren und Mitwirkende

Dipl.-Ing. Stefan Mischo,
 Dipl.-Ing. (FH) Stefan Powolny,
 Dipl.-Ing. Hanna Zündel,
 Dipl.-Ing. (FH) Norbert Löchel,
 Dipl.-Inform. Jörn Stuphorn, Universität Bielefeld,
 Dr. Rainer Constapel, DaimlerChrysler AG
 Sindelfingen,
 Dipl.-Ing. Peter Häußermann,
 DaimlerChrysler AG, Sindelfingen,
 Dr. rer. nat. Alexander Leonhardt,
 DaimlerChrysler AG Sindelfingen,
 Dipl.-Inform. Heiko Holtkamp, Universität
 Bielefeld

Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um Mitarbeiter der Robert Bosch GmbH, Stuttgart.

Energiebordnetze

Das Energiebordnetz eines Kfz besteht aus dem Generator als Energiewandler, einer oder mehreren Batterien als Energiespeicher und den elektrischen Geräten als Verbraucher. Mithilfe der Energie aus der Batterie wird der Fahrzeugmotor über den Starter gestartet. Im Fahrbetrieb müssen Zünd- und Einspritzanlage, Steuergeräte, die Sicherheits- und Komfortelektronik, die Beleuchtung und weitere Geräte mit Strom versorgt werden. Der Generator liefert hierfür sowie zum Laden der Batterie die benötigte elektrische Energie.

Gestiegene Ansprüche an Komfort und Sicherheit führen zu einem erheblichen Anstieg des Energiebedarfs im Bordnetz. Zudem setzt sich der Trend fort, immer mehr Fahrzeugkomponenten zu elektrifizieren (z. B. Sitzverstellung, elektrische Feststellbremse, elektrische Lenkhilfe). Die Nennleistung der Generatoren reicht von ca. 1 kW im Kleinwagen bis über 3 kW in der Oberklasse. Das ist weniger, als die Verbraucher in der Summe benötigen. Das bedeutet, dass zeitweise auch die Batterie im Fahrbetrieb Energie liefern muss. Alle Komponenten sollten so dimensioniert sein, dass die Ladebilanz der Batterie im Betrieb stets positiv oder zumindest ausgeglichen ist.

Elektrische Energieversorgung

Aufgabe des Energiebordnetzes

Bei laufendem Motor liefert der Generator Strom (I_G , Bild 1). Damit der Generator die Batterie laden kann, muss er die Bordnetzspannung über die Batterie-Leerlaufspannung anheben. Das kann der Generator jedoch nur, wenn die zugeschalteten Verbraucher ihm nicht mehr Strom abverlangen, als er liefern kann. Ist der Verbraucherstrom I_V im Bordnetz höher als der Generatorstrom I_G (z. B. bei Motorleerlauf), so wird die Batterie entladen. Die Bordnetzspannung sinkt auf das Spannungsniveau der belasteten Batterie.

Der maximale Generatorstrom hängt stark von der Drehzahl und der Generatortemperatur ab. Bei Motorleerlauf kann der Generator nur 55...65 % seiner Nennleistung abgeben. Direkt nach einem Kaltstart bei niedrigen Außentemperaturen ist der Generator jedoch in der Lage, ab mittlerer Motordrehzahl bis zu 120 % seiner Nennleistung in das Bordnetz zu speisen. Wenn der Motor warm ist, heizt sich der Motorraum abhängig von der Außentemperatur und der Motorbelastung auf 60...120°C auf. Hohe Motorraumtemperaturen verursachen hohe Wicklungswiderstände, die die maximale Generatorleistung reduzieren.

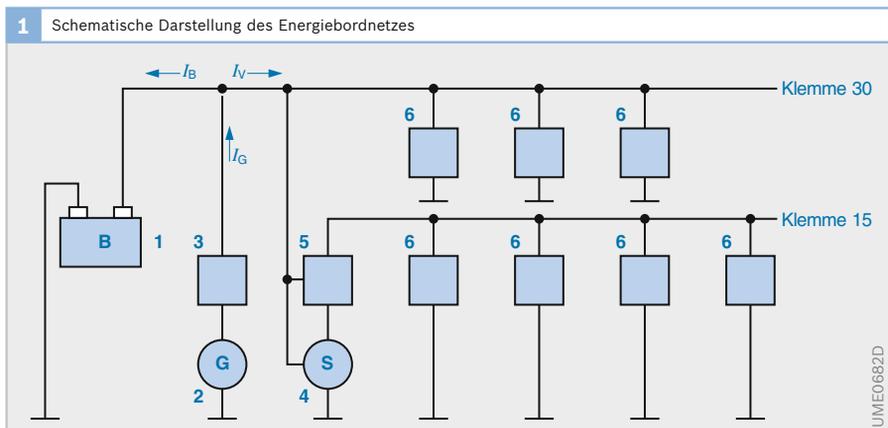
Über die Auswahl von Batterie, Generator, Starter und der anderen Verbraucher

1 Schematische Darstellung des Energiebordnetzes

Bild 1

- 1 Fahrzeugbatterie
- 2 Generator
- 3 Generatorregler
- 4 Starter
- 5 Fahrtschalter
- 6 Verbraucher

- I_B Batteriestrom
 I_G Generatorstrom
 I_V Verbraucherstrom



im Bordnetz muss eine ausgeglichene Ladebilanz der Batterie sichergestellt werden, sodass

- ▶ immer ein Starten des Verbrennungsmotors möglich ist und
- ▶ nach Abstellen des Motors bestimmte elektrische Verbraucher noch eine angemessene Zeit betrieben werden können.

Aufbau und Arbeitsweise des 14-V-Bordnetzes

Schematische Darstellung

Das elektrische System im Kraftfahrzeug lässt sich als Zusammenspiel des Energiewandlers (Generator), des Energiespeichers (Batterie) und der Verbraucher darstellen (Bild 1). Bei abgezogenem Zündschlüssel werden nur wenige Verbraucher mit Spannung versorgt (z. B. Diebstahlalarmanlage, Autoradio, Standheizung). Der Anschluss, über den diese Verbraucher versorgt werden, wird als *Klemme 30* (Dauerplus) bezeichnet.

Die übrigen Verbraucher sind an *Klemme 15* angeschlossen. In Fahrtschalterstellung *Zündung ein* wird die Batteriespannung auf diese Klemme geschaltet, sodass nun alle Verbraucher an die Stromversorgung angeschlossen sind.

Der Generator wird über den Keilriemen von der Kurbelwelle angetrieben und wandelt die mechanische Leistung in elektrische Leistung. Der Generatorregler begrenzt die abgegebene Leistung so weit, dass die im Regler eingestellte Sollspannung (14,0...14,5 V) nicht überschritten wird.

Batterieeinbautagen

Die Batterie ist bei den meisten Autos im Motorraum untergebracht. Eine große Batterie (z. B. 100 Ah) nimmt jedoch sehr viel Platz in Anspruch und kann bei beengten Motorraumverhältnissen u. U. nicht eingebaut werden. Ein weiteres Argument gegen einen Einbau im Motorraum kann die hohe Umgebungstemperatur sein. Eine Alternative ist der Einbau im Kofferraum oder im Fahrgastraum (z. B. unter Beifahrersitz).

Einfluss der Einbaulage auf die Ladespannung

Die Leitung zwischen der im Motorraum eingebauten Batterie und dem Generator ist kürzer als beim Einbau im Kofferraum. Das wirkt sich auf den Leitungswiderstand und damit direkt auf den Spannungsfall auf der Leitung aus. Der Widerstand ist proportional zur Leitungslänge und umgekehrt proportional zum Leitungsquerschnitt. Geeignete Leitungsquerschnitte und gute Verbindungsstellen, deren Übergangswiderstände sich auch nach längerer Betriebszeit nicht verschlechtern, halten Spannungsfälle klein.

Bild 2a zeigt die Verhältnisse für den Einbau im Motorraum. Der Spannungsfall U_{D1} am Leitungswiderstand R_{L1} beträgt

$$U_{D1} = R_{L1} \cdot I_G, \text{ mit}$$

$$I_G = I_V + I_B$$

I_G Generatorstrom,

I_V Verbraucherstrom von R_{V1} und R_{V2} ,

I_B Batterieladestrom.

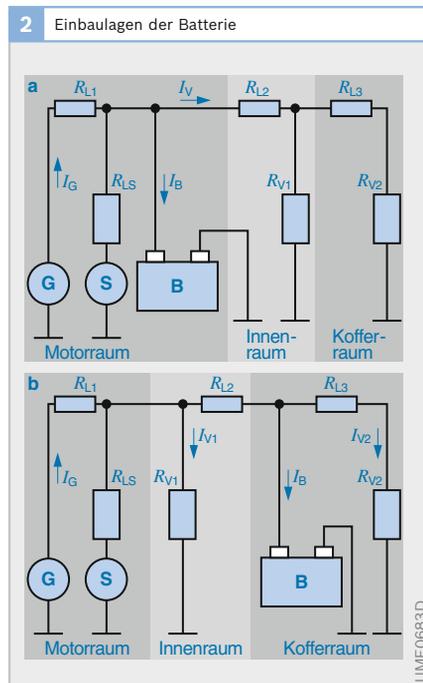


Bild 2

a Einbau im Motorraum

b Einbau im Kofferraum

G Generator

B Batterie

S Starter

R_L Leitungswiderstände

R_V Verbraucherwiderstände

I_G Generatorstrom

I_V Verbraucherstrom

I_B Batterieladestrom

Die im Kofferraum eingebaute Batterie benötigt eine längere Zuleitung mit dem zusätzlichen Leitungswiderstand R_{L2} (Bild 2b). An diesem Widerstand entsteht der Spannungsfall

$$U_{D2} = R_{L2} \cdot (I_B + I_{V2}), \text{ mit}$$

$$I_{V2} \text{ Verbraucherstrom von } R_{V2}.$$

Aufgrund des höheren Spannungsfalls ist die Ladespannung für die im Kofferraum eingebaute Batterie also geringer. Die zusätzliche von R_{L2} verursachte Spannungsdifferenz kann durch eine Erhöhung des Sollwerts der Generatorspannung ausgeglichen werden. Dadurch wird die Leistung des Generators höher.

Einfluss der Einbaulage auf Startfähigkeit
Die Startfähigkeit hängt von der am Starter anliegenden Spannung ab. Je höher dieser

Wert ist, desto höher ist beim Startvorgang die Drehzahl des Starters. Einen entscheidenden Einfluss auf diese Spannung hat aufgrund des hohen Starterstroms der Widerstand der Zuleitung. Für die Variante mit der im Kofferraum eingebauten Batterie ist die Leitung zwischen Batterie und Starter länger als beim Motorraumeinbau, entsprechend höher ist der Widerstand und somit auch der Spannungsfall. Für eine gute Startfähigkeit ist somit der Batterieeinbau im Motorraum mit kurzen Leitungen zum Starter günstiger.

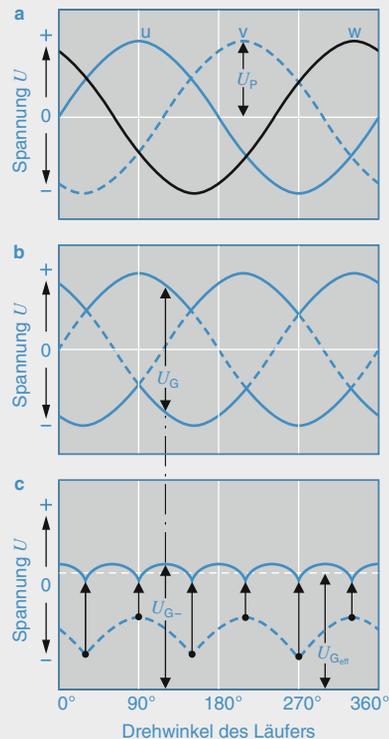
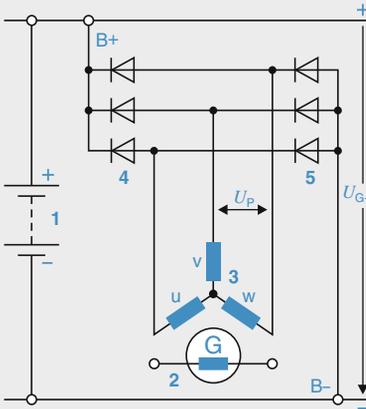
Einfluss der Umgebungstemperatur
Hohe Temperaturen, wie sie im Motorraum auftreten können, führen zu temperaturbedingten Effekten in der Batterie (z.B. Gasung), die sich negativ auf die Lebensdauer der Batterie auswirken. Hohe

3 Drehstrom-Brückenschaltung

Bild 3
a Dreiphasen-Wechselspannung
b Generatorspannung, durch die Hüllkurven der positiven und negativen Halbwellen gebildet
c gleichgerichtete Generatorspannung

- U_p Phasenspannung
- U_G Spannung am Gleichrichter (Minus nicht an Masse)
- U_{G-} Generator-Gleichspannung (Minus an Masse)
- U_{Geff} Effektivwert der Gleichspannung

- 1 Batterie
- 2 Erregerwicklung des Generators
- 3 Ständerwicklung
- 4 Plus-Dioden
- 5 Minus-Dioden



Temperaturen in der Batterie können durch Abschirmung reduziert werden.

Bei niedrigen Außentemperaturen dauert es lange, bis die im Kofferraum eingebaute Batterie warm wird. Zu niedrige Batterietemperaturen führen zu einer schlechten Ladefähigkeit. Dies wiederum führt zu einer schlechten Ladebilanz und damit zu einem niedrigen Ladezustand (SOC, State of Charge). Das beschleunigt den Alterungsprozess der Batterie (Sulfatierung).

Einfluss der Einbaulage auf Spannungstabilität

Da nur Gleichstrom in Batterien gespeichert werden kann, muss der im Generator erzeugte Wechselstrom gleichgerichtet werden. Diese Aufgabe übernimmt ein Diodengleichrichter, der im Generator integriert ist (Bild 3). Durch das Gleichrichten der Wechselfspannung entsteht eine wellige Gleichspannung, indem die Dioden die Spitzen aus den Wechselfspannungswellen „herausschneiden“ (Bild 3c). Außerdem entstehen durch das Schalten der Dioden - wenn der Strom von einer Diode zur nächsten kommutiert - hochfrequente Spannungsschwingungen, die zum größten Teil durch den im Generator eingebauten Entstörkondensator geglättet werden.

Elektronische Verbraucher (z. B. Steuergeräte) können durch die Spannungsspitzen oder die Spannungswelligkeit gestört oder sogar beschädigt werden. Durch ihre große Kapazität kann die Batterie die Spannungsschwankungen glätten. Aufgrund des Leitungswiderstands R_L zwischen Generator und Batterie werden sie jedoch am Generator nicht vollständig unterdrückt. Sind die Verbraucher batterie-seitig (Bild 4a) oder hinter der Batterie angeschlossen (z. B. R_{V1} und R_{V2} in Bild 2a), werden sie mit der weitgehend geglätteten Bordnetzspannung versorgt. Sind die Verbraucher generatorseitig, also direkt am Generator angeschlossen (Bild 4b), so sind sie einer größeren Spannungswelligkeit

und größeren Spannungsspitzen ausgesetzt.

Es empfiehlt sich, spannungsunempfindliche Verbraucher mit hoher Leistungsaufnahme in Generatornähe und spannungsempfindliche Verbraucher mit niedriger Leistungsaufnahme in Batterienähe anzuschließen.

Leistung der Verbraucher Verbraucherklassifizierung

Die elektrischen Verbraucher haben unterschiedliche Einschalt Dauern (Bild 5). Man unterscheidet zwischen

- ▶ Dauerverbrauchern, die immer eingeschaltet sind (z. B. Elektrokraftstoffpumpe, Motormanagement),
- ▶ Langzeitverbrauchern, die bei Bedarf eingeschaltet werden und dann für längere Zeit eingeschaltet sind (z. B. Abblendlicht, Autoradio, elektrisches Kühlergebläse) und
- ▶ Kurzzeitverbrauchern, die nur kurz eingeschaltet sind (z. B. Blinker, Bremslicht, elektrische Sitzverstellung, elektrische Fensterheber).

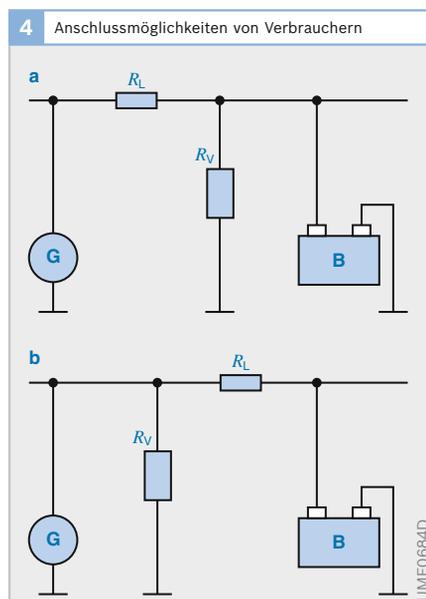
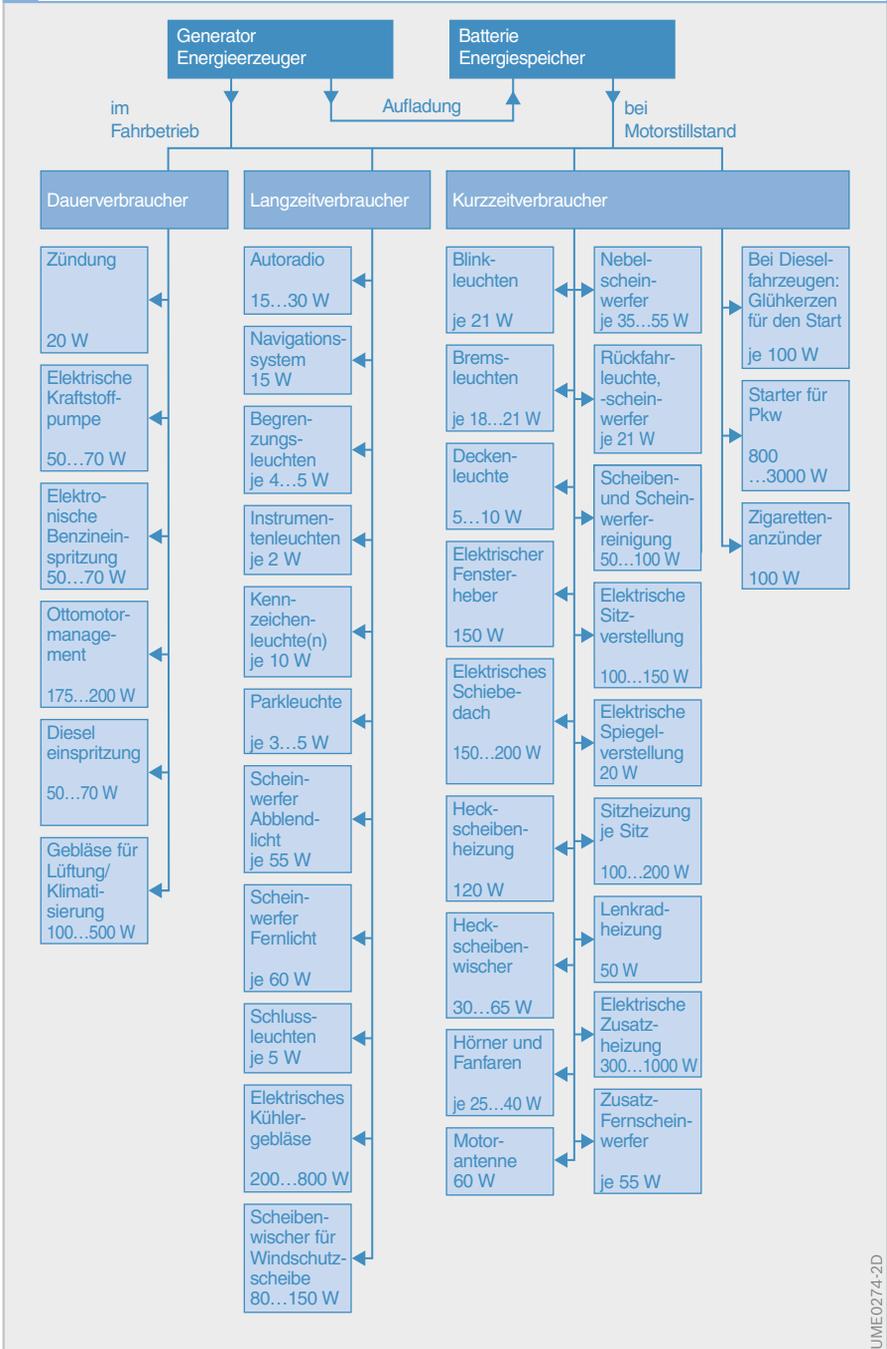


Bild 4

- a Batterie-seitiger Anschluss von Verbrauchern
- b generator-seitiger Anschluss von Verbrauchern

G Generator
B Batterie
 R_L Leitungswiderstand
 R_V Verbraucherwiderstand

5 Leistungsbedarf von elektrischen Verbrauchern im Bordnetz (Beispiele mit Durchschnittswerten)



Die Benutzung einiger elektrischer Verbraucher hängt von der Außentemperatur ab. Insbesondere die verschiedenen Heizungen (z. B. Front- und Heckscheibenheizung, Sitzheizung) werden nur bei Bedarf bei Fahrtbeginn für eine begrenzte Zeit eingeschaltet.

Vom Motorlüfter wird die größte Leistung bei Fahrzeugstillstand (also bei Motorleerlauf mit geringer Stromerzeugung des Generators) angefordert, weil die Kühlung der Fahrtwinds fehlt. Der Kühler wird bei Bedarf auch nach Abstellen des Motors zugeschaltet, um einen Wärmestau im Motorraum zu verhindern. Dieser Verbraucher deckt somit einen großen Anteil seines hohen Energiebedarfs aus der Batterie ab.

Fahrzeitabhängige Verbraucherleistung

Die benötigte Verbraucherleistung ist während einer Fahrt nicht konstant. Sie ist insbesondere in den ersten Minuten nach dem Start sehr hoch und sinkt dann ab (Bild 6):

- ▶ Eine elektrische Frontscheibenheizung benötigt zum Abtauen der Scheibe für 1...3 Minuten nach dem Start bis zu 2 kW.
- ▶ Die Sekundärluftpumpe, die Luft direkt hinter dem Brennraum zum Nachverbrennen des Abgases einbläst, läuft bis zu 3 Minuten nach dem Start.
- ▶ Weitere Verbraucher wie Heizung (Heckscheibenheizung, Sitzheizung, Außenspiegelheizung usw.), Gebläse und Beleuchtung sind je nach Situation kürzer oder länger eingeschaltet.

Nach einigen Minuten sind diese Verbraucher ausgeschaltet. Die Verbraucherleistung wird dann vorwiegend von den Dauerverbrauchern (z. B. Motormanagement) und den Langzeitverbrauchern bestimmt.

Ruhestromverbraucher

Verschiedene Steuergeräte bzw. Verbraucher benötigen auch bei abgestelltem Fahrzeug eine Stromversorgung. Der Ruhestrom setzt sich aus der Summe aller die-

ser eingeschalteten Verbraucher zusammen. Die meisten schalten kurze Zeit nach Abstellen des Motors ab (z. B. Innenraumbeleuchtung), einige hingegen sind immer aktiv (z. B. Diebstahlwarnanlage).

Der Ruhestrom muss von der Batterie geliefert werden. Der maximale Wert des Ruhestroms wird von den Fahrzeugherstellern definiert. Die Dimensionierung der Batterie richtet sich u. a. nach diesem Wert.

Typische Werte für den Ruhestrom in einem Pkw liegen bei ca. 3...10 mA.

Stromabgabe des Generators

Wesentliche Bestandteile des Generators sind der feststehende Stator (Bild 7, Pos. 3) und der im Stator drehende Rotor (2), der über den Keilriemen von der Kurbelwelle angetrieben wird. In den drei Statorwicklungen wird eine elektrische Wechselspannung induziert (Drehstromgenerator), wenn in der Rotorspule ein Strom fließt (Erregerstrom) und damit ein Magnetfeld aufgebaut wird. Der Erregerstrom wird vom erzeugten Generatorstrom abgezweigt (Selbsterregung). Die induzierte Spannung hängt von der Drehgeschwindigkeit des Rotors und von der Höhe des Erregerstroms ab. Die erzeugte Wechselspannung wird von Dioden (5) gleichgerichtet.

Da die im Generator induzierte Spannung von der Generatorzahl und so-

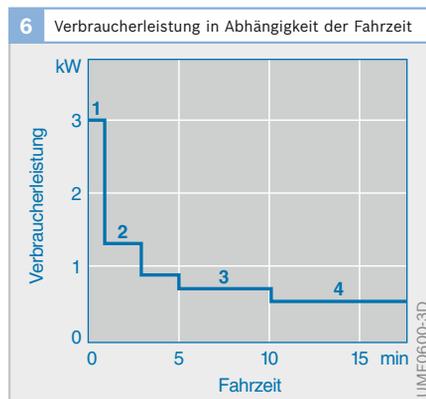


Bild 6

- 1 Frontscheibenheizung
- 2 Sekundärluftpumpe
- 3 Heizung, Gebläse usw.
- 4 Dauer- und Langzeitverbraucher

mit auch von der Motordrehzahl abhängt, ist die Spannung bei niedrigen Drehzahlen gering. Bei Motorleerlaufdrehzahl n_L kann der Generator bei gängigen Übersetzungsverhältnissen (Kurbelwellen- zu Generator-drehzahl) von 1:2,5 bis 1:3 nur einen Teil seines Nennstroms abgeben (Bild 8). Der Nennstrom wird unter Volllast bei der Generatordrehzahl 6000 min^{-1} erreicht. Um die nominale Generatorleistung zu erreichen, muss die im Fahrbetrieb erreichte mittlere Drehzahl hoch genug sein. Fahrzyklen mit hohem Leerlaufanteil sind besonders kritisch, weil die verfügbare Generatorleistung so niedrig ist, dass bei hoher eingeschalteter Verbraucherleistung die Batterie entladen wird.

Ist die Generatorspannung höher als die Batteriespannung, fließt ein Batterieladestrom in die Batterie und lädt diese auf. Die Spannung wird vom Generatorregler begrenzt, sodass sich die Bordnetzspannung von ca. 14 V einstellt.

Die Leistungserzeugung durch den Generator hat Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch. Der Mehrverbrauch bei 100 W elektrischer Leistung liegt in der Größenordnung von 0,17 l auf 100 km Fahrstrecke und ist abhängig vom Wirkungsgrad des Generators und vom Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors.

Bild 8
 I_V Verbraucherstrom
 I_G Generatorstrom
 n_L Motorleerlauf-drehzahl

Spannungsregelung im Bordnetz
 Erzeugung des Erregermagnetfelds im Start

Damit in den Statorwicklungen eine Spannung induziert werden kann, ist ein Magnetfeld im Rotor erforderlich. Bei niedrigen Drehzahlen nach dem Start ist eine Selbsterregung nicht möglich. Die erste Erregung des Generators nach dem Start wird deshalb von der Batterie übernommen.

Das Drehmoment eines unter Last laufenden Generators würde den Startvorgang und die Leerlaufstabilisierung des Verbrennungsmotors behindern. Deshalb regeln moderne Regler den Erregerstrom während der Startphase auf einem geringen

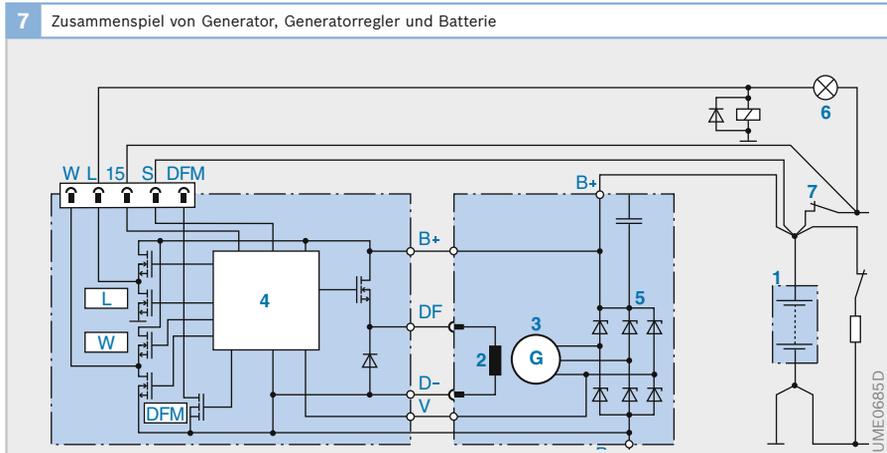
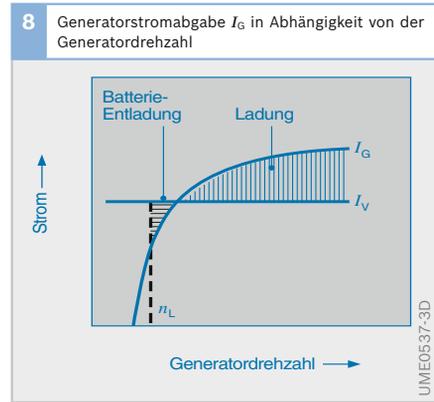


Bild 7
 1 Batterie
 2 Rotor des Generators
 3 Stator des Generators
 4 Generatorregler
 5 Gleichrichterdioden
 6 Ladekontrollleuchte
 7 Fahrtschalter

gen Niveau ein (gesteuerte Vorerregung). Die Stromerzeugung wird bis nach dem Hochlauf des Motors verzögert (Load-Response Start, LRS). Die Verbraucher werden bis dahin von der Batterie versorgt.

Spannungsregelung im Fahrbetrieb

Der Regler stellt das Erregermagnetfeld über einen pulsweitenmodulierten (PWM) Strom in der Rotorwicklung so ein, dass die Spannung an B+ dem vorgegebenen Sollwert entspricht. Die Frequenz des PWM-Signals beträgt 40...200 Hz, das Tastverhältnis hängt davon ab, wie viel Leistung die Verbraucher anfordern. Bei einer Laständerung ändert sich die Bordnetzspannung, worauf der Regler durch Anpassen des PWM-Signals das Erregermagnetfeld so einstellt, dass die Spannung nachgeführt wird.

Der Anschluss der Erregerwicklung wird als DF (Dynamo Feld) bezeichnet. Der Generatorregler gibt das PWM-Signal als DFM (DF-Monitor) aus, um andere Steuergeräte über die Auslastung des Generators in Kenntnis zu setzen.

Der Regler benötigt zur Regelung den Wert der Batteriespannung. Er erhält ihn über den Anschluss B+. Bei einer langen Zuleitung und hohen Strömen auf dieser Leitung kann der Spannungsunterschied zwischen Batterie und Regler groß sein, sodass die Leistungserzeugung des Generators reduziert ist und die Batterie möglicherweise unzureichend geladen wird. Abhilfe kann hier der S-Anschluss bieten, über den mit einem separat am Pluspol der Batterie angeschlossenen Kabel dem Regler die Batteriespannung zugeführt wird.

Die Bus-Anbindung des Reglers (z. B. LIN-Bus) ermöglicht die Variation des Sollwerts, auf den geregelt werden soll. Damit sind Funktionen wie z. B. Rekuperation möglich. Die Funktion Load-Response Fahrt (LRF) regelt im Fahrbetrieb nach Umschalten einer hohen Last und dem damit verbundenen plötzlichen Spannungseinbruch die Generatorspannung rampenförmig wieder auf den Sollwert. Dadurch wird

verhindert, dass der Generator den Verbrennungsmotor sprunghaft belastet.

Ladekontrollleuchte

Die Ladekontrollleuchte wird vom Generatorregler angesteuert. Sie leuchtet bei *Zündung ein* und geht aus, wenn der Generator Strom liefert. Sobald der Regler einen Fehler erkennt (z. B. Generatorausfall durch Keilriemenbruch, Unterbrechung oder Kurzschluss im Erregerstromkreis, Unterbrechung der Ladeleitung zwischen Generator und Batterie), schaltet er die Ladekontrollleuchte ein.

Laden der Batterie

Die ideale Batterieladespannung muss aufgrund der chemischen Vorgänge in der Batterie bei Kälte höher, bei Wärme niedriger sein. Die Gasungsspannungskurve gibt die maximale Spannung an, bei der die Batterie nicht gast. Der Generatorregler begrenzt die Spannung, wenn der Generatorstrom I_G größer ist als die Summe aus benötigtem Verbraucherstrom I_V und dem temperaturabhängigen maximal zulässigen Batterieladestrom I_B .

Regler sind üblicherweise an den Generator angebaut. Bei größeren Abweichungen zwischen Reglertemperatur und Batteriesäuretemperatur ist es von Vorteil, die Temperatur für die Spannungsregelung direkt an der Batterie zu erfassen.

Die Anordnung von Generator, Batterie und Verbrauchern beeinflusst den Spannungsfall auf der Ladeleitung und damit die Ladespannung. Sind alle Verbraucher batterieseitig angeschlossen, fließt auf der Ladeleitung der Gesamtstrom $I_G = I_B + I_V$. Durch den hohen Spannungsfall ist die Ladespannung entsprechend niedriger. Sind dagegen alle Verbraucher generatorseitig angeschlossen, ist der Spannungsfall auf der Ladeleitung niedriger, die Ladespannung höher. Der Spannungsfall kann vom Regler mit unmittelbarer Messung des Spannungs-Istwertes an der Batterie berücksichtigt werden.

Bordnetzstrukturen

Ein-Batterie-Bordnetz

Bild 1 zeigt ein Ein-Batterie-Bordnetz, wie es im Pkw-Bereich vorwiegend zu finden ist. Als Energiespeicher dient eine Batterie, die sowohl den Strom für den Startvorgang liefert als auch die Energieversorgung für die Verbraucher bei fehlender (Motorstillstand) oder unzureichender (Leerlaufphasen) Generatorleistung übernimmt. Dieses Konzept ist derzeit am meisten verbreitet, da es die kostengünstigste Lösung für die Energieversorgung im Kraftfahrzeug darstellt.

Nachteile des Ein-Batterie-Bordnetzes

Bei der Auslegung einer Fahrzeugbatterie für das Ein-Batterie-Bordnetz, die sowohl den Starter als auch die weiteren Verbraucher im Bordnetz versorgt, muss ein Kompromiss zwischen verschiedenen Anforderungen gefunden werden. Während des Startvorganges wird die Batterie mit hohen Strömen (300...500 A) belastet. Der damit verbundene Spannungseinbruch wirkt sich nachteilig auf bestimmte Verbraucher aus (z. B. Unterspannungsreset bei Geräten

mit Mikrocontroller) und sollte so gering wie möglich sein.

Im Fahrbetrieb fließen dagegen nur noch vergleichsweise geringe Ströme. Für eine zuverlässige Stromversorgung ist die Kapazität der Batterie maßgebend. Beide Eigenschaften - Leistung und Kapazität - lassen sich nicht gleichzeitig optimieren.

Zwei-Batterien-Bordnetz

Bei Bordnetzausführungen mit zwei Batterien - Startspeicher und Versorgungsbatterie - werden durch das Bordnetzsteuergerät die Batteriefunktionen *Bereitstellung hoher Leistung für den Startvorgang* und *Versorgung des Bordnetzes* getrennt (Bild 9), um den Spannungseinbruch im Bordnetz beim Start zu vermeiden und einen Kaltstart auch bei einem niedrigen Ladezustand der Versorgungsbatterie sicherzustellen.

Startspeicher (Startbatterie)

Der Startspeicher muss nur für eine begrenzte Zeit (Startvorgang) einen hohen Strom liefern. Er wird daher auf eine hohe Leistungsdichte (hohe Leistung bei geringem Gewicht) ausgelegt. Weil er ein klei-

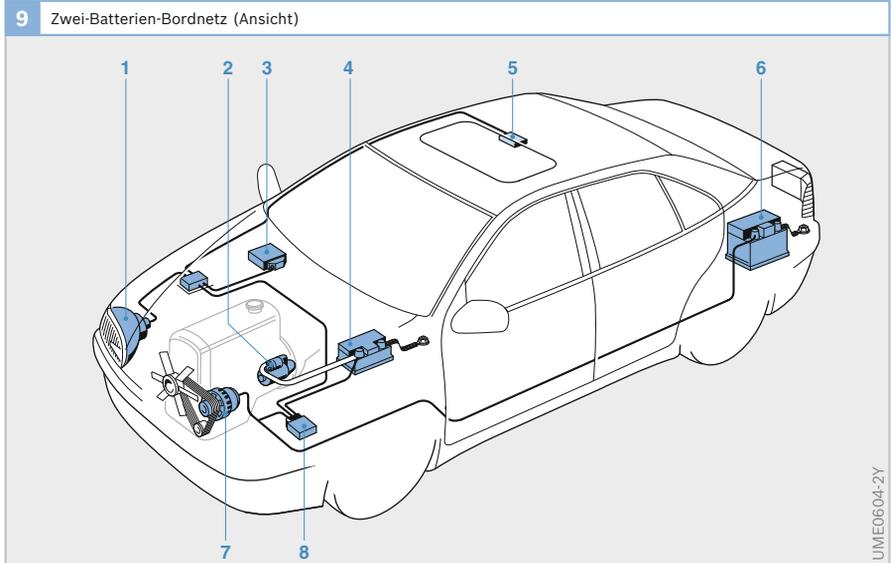


Bild 9

- 1 Lichtanlage
- 2 Starter
- 3 Motormanagement
- 4 Startbatterie
- 5 weitere Bordnetzverbraucher (z. B. elektrische Schiebedachbetätigung)
- 6 Versorgungsbatterie
- 7 Generator
- 8 Lade-/Trennmodul

nes Volumen hat, kann er in der Nähe des Starters eingebaut und mit diesem über eine kurze Zuleitung (niedriger Spannungsfall auf der Leitung) verbunden sein. Die Kapazität ist reduziert.

Versorgungsbatterie

Die Versorgungsbatterie ist ausschließlich für das Bordnetz (ohne Starter) vorgesehen. Sie liefert Ströme zur Versorgung der Bordnetzverbraucher (z. B. ca. 20 A für das Motormanagement). Sie ist stark zyklisierbar, d. h., sie kann große Energiemengen bereitstellen und speichern. Die Dimensionierung richtet sich im Wesentlichen nach der erforderlichen Kapazitätsreserve für eingeschaltete Verbraucher, den Verbrauchern bei stehendem Motor (Ruhestromverbraucher, z. B. Empfänger für Funkfernbedienung der Zentralverriegelung, Diebstahlwarnanlage) und der zulässigen Entladetiefe.

Bordnetz-Steuergerät

Das Bordnetz-Steuergerät im Zwei-Batterien-Bordnetz (Bild 10, Pos. 3) trennt den Startspeicher und den Starter vom übrigen Bordnetz, solange dieses von der Versor-

gungsbatterie ausreichend versorgt werden kann. Es verhindert damit, dass sich der vom Startvorgang verursachte Spannungseinbruch im Bordnetz auswirkt. Bei abgestelltem Fahrzeug verhindert es eine Entladung des Startspeichers durch eingeschaltete Verbraucher und Stillstandsverbraucher.

Durch die Trennung der Startspeicherseite vom übrigen Bordnetz besteht auf dieser prinzipiell keine Einschränkung für das Spannungsniveau. Damit kann die Ladespannung über DC/DC-Wandler optimal an die Versorgungsbatterie angepasst werden, sodass die Ladedauer minimiert wird.

Bei leerer Versorgungsbatterie ist das Steuergerät in der Lage, beide Bordnetzbereiche vorübergehend zu verbinden und damit das Bordnetz über den vollen Startspeicher zu stützen. In einer weiteren möglichen Ausführung schaltet das Steuergerät für den Start nur die startrelevanten Verbraucher auf die jeweils volle Batterie.

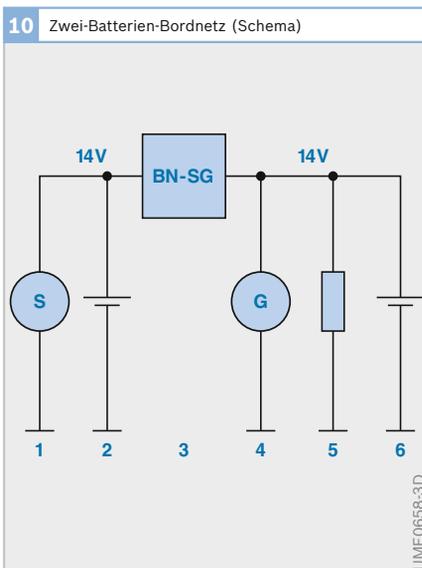


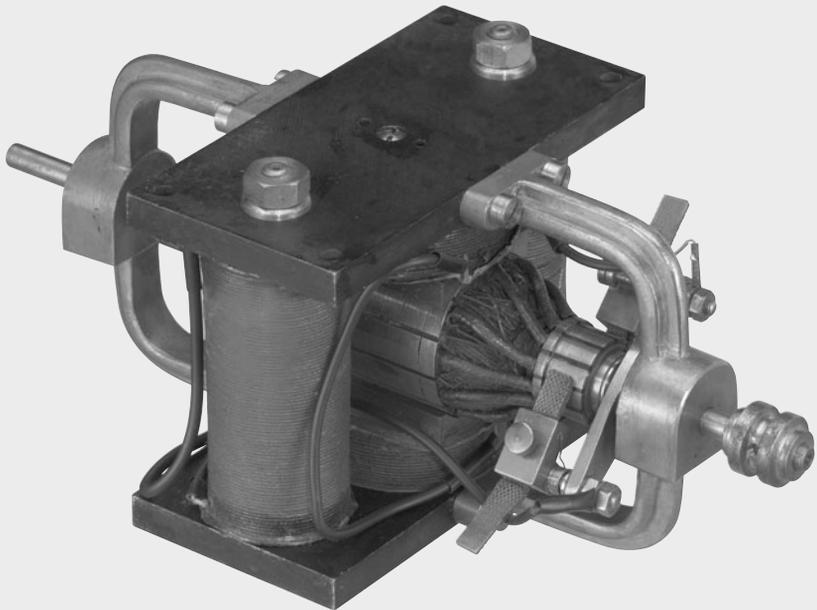
Bild 10

- 1 Starter
- 2 Startbatterie (Startspeicher)
- 3 Bordnetzsteuergerät (BN-SG)
- 4 Generator
- 5 elektrische Verbraucher
- 6 Versorgungsbatterie

▶ Generator-Geschichte(n)

Die Einführung der elektrischen Beleuchtung anstelle der Kutschenbeleuchtung am Kraftfahrzeug der Jahrhundertwende hing von der Verfügbarkeit einer geeigneten Stromquelle ab. Die Batterie für sich allein kam auf die Dauer dafür nicht in Betracht, da sie – wenn entladen – erst nach dem Aufladen außerhalb des Wagens wieder betriebsfähig war. Etwa im Jahr 1902 entstand bei Robert Bosch das Muster einer „Lichtmaschine“ (jetzt Generator genannt). Sie bestand hauptsächlich aus Dauermagneten als Ständer, einem Anker mit Kommutator und einem Unterbrecher für die Zündung (Bild). Die eigentliche Schwierigkeit lag aber darin, dass die erzeugte Spannung von der stark wechselnden Motordrehzahl abhing.

Die weiteren Bemühungen konzentrierten sich deshalb auf die Entwicklung einer Gleichstrom-Lichtmaschine mit Spannungsregelung. Schließlich führte die von der Maschinenspannung abhängige elektromagnetische Steuerung des Feldwiderstands auf den richtigen Weg. Mit diesem um 1909 erreichten Stand der Erkenntnisse ließ sich eine vollständige „Licht- und Anlasseranlage für Kraftfahrzeuge“ realisieren. Sie kam 1913 auf den Markt und umfasste eine Lichtmaschine (spritzwasserdicht gekapselte 12-Volt-Gleichstrom-Dynamomaschine mit Nebenschlussregelung und 100 W Nennleistung), eine Batterie, einen Regler- und Schaltkasten, einen Freilaufanlasser mit Fußstufenschalter und verschiedene lichttechnische Komponenten.



Elektrisches Energiemanagement (EEM)

Motivation

Reduktion des Kraftstoffverbrauchs

Die Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgase, insbesondere CO₂, ist ein wesentliches Ziel der Fahrzeughersteller. Erreicht werden soll dies durch eine Optimierung der Energieflüsse im Kraftfahrzeug. Maßnahmen zur Erreichung dieses Ziels sind z. B.:

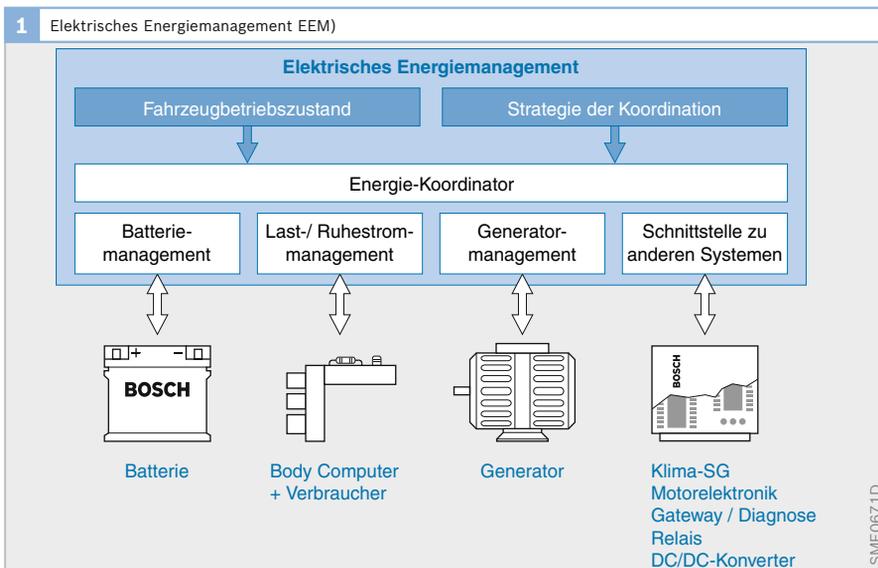
- ▶ Vermeidung der Leerlaufverluste durch Stopp-Start-Funktion (automatisches Abstellen und Wiederstart des Motors z. B. bei Rotphasen an Ampeln).
- ▶ Erhöhung des Wirkungsgrads der elektrischen Leistungserzeugung durch Optimierung des Generators und eine intelligente Generatoransteuerung (Rekupe-ration).
- ▶ Elektrisch angetriebene Nebenaggregate, um durch Entkopplung vom Verbrennungsmotor eine bedarfsgerechte Ansteuerung zu ermöglichen.

Elektrischer Leistungsbedarf

Diese Maßnahmen führen zu einem steigenden elektrischen Leistungsbedarf und gleichzeitig zu einem reduzierten Drehzahlangebot für die elektrische Leistungserzeugung (z. B. durch Stopp-Start-Betrieb). Neue Komfort- und Sicherheitsfunktionen (z. B. elektrische Servolenkung, elektrische Wasserpumpe, PTC-Zuheizung, elektrische Klimatisierung bei Fahrzeugen mit Stopp-Start-Funktion) erfordern zusätzlich elektrische Leistung, sodass es hilfreich ist, ein Elektrisches Energiemanagement (EEM) zu integrieren.

Aufgabe des EEM

Das EEM steuert die Energieflüsse und stellt gleichzeitig die elektrische Energieversorgung sicher, um die Startfähigkeit des Fahrzeuges zu erhalten und „Liegenbleiber“ durch entladene Batterien zu reduzieren. Das EEM stabilisiert zudem die Batteriespannung und optimiert die Verfügbarkeit von Komfortsystemen - auch bei Motorstillstand. Dies kann erreicht werden durch Sicherstellen einer positiven oder zumindest ausgeglichenen Ladebilanz während des Fahrbetriebs und ei-



ner Überwachung des Energiebedarfs bei Motorstillstand. Zudem können durch koordiniertes Schalten von elektrischen Verbrauchern Spitzenlasten reduziert werden. Dies wird im EEM koordiniert (Bild 1).

Die Auswirkungen der getroffenen Maßnahmen konkurrieren teilweise miteinander. Zum Beispiel führt das Abschalten von Komfortverbrauchern zu Komfoteinbußen, das Verbot der Stopp-Start-Funktion zu erhöhtem Kraftstoffverbrauch. Abhängig vom Fahrzeughersteller wird das eine oder andere bevorzugt und dementsprechend werden die möglichen Maßnahmen zur Sicherstellung der Ladebilanz priorisiert.

Nutzen des EEM

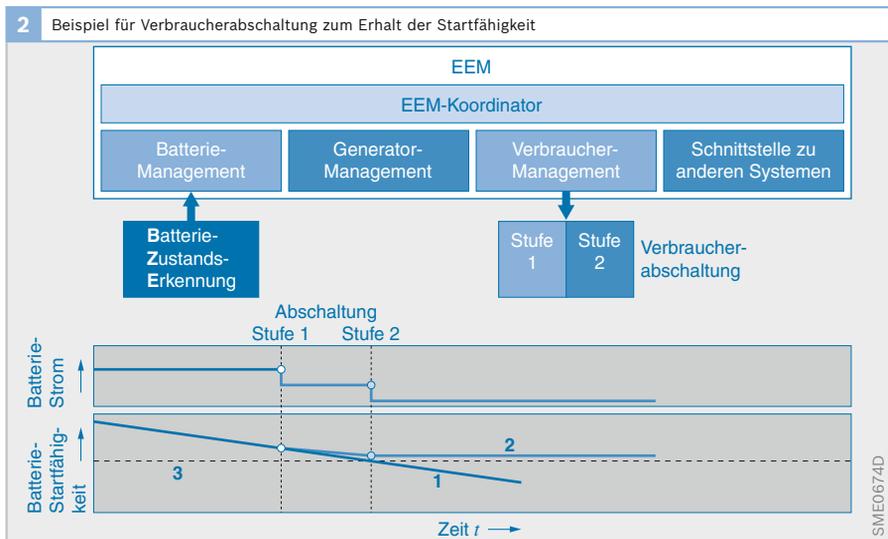
Der Bedarf und der Nutzen eines EEM werden in der Pannenstatistik des Allgemeinen Deutschen Automobil-Clubs (ADAC) dokumentiert. Seit Jahren sind Batteriepannen ein Schwerpunkt in der Statistik. Sie zeigt aber auch, dass die Zahl der entladenen Batterien gegenüber defekten Batterien überwiegt und der Anteil an Batteriepannen jährlich weiter steigt, bei Fahrzeugen mit EEM jedoch abnimmt.

Funktionen des EEM

Lastmanagement im Ruhemodus (Ruhestrommanagement)

Das Ruhestrommanagement überwacht den Batteriezustand und damit die Startfähigkeit bei abgestelltem Motor. Mit Hilfe einer genauen Batteriezustandserkennung kann über das Ruhestrommanagement die Verfügbarkeit von Verbrauchern optimiert werden, d. h., die Einschaltdauer der Komfortverbraucher kann maximiert werden. Bei drohendem Verlust der Startfähigkeit kann das EEM z. B. eine Botschaft an das Anzeigemodul senden, um den Nutzer zu informieren. Zudem wird das Lastmanagement bei Annäherung an die Startfähigkeitsgrenze den Energieverbrauch reduzieren (z. B. Leistungsreduzierung des Klimagebläses) bis hin zum Abschalten einzelner Verbraucher, um die Startfähigkeit möglichst lange zu erhalten (Bild 2).

Beispiele für solche Komfortverbraucher sind Standheizung und Infotainmentkomponenten wie Navigationssystem, Radio und Telefon.



Energiemanagement im Fahrbetrieb

Aufgabe des EEM bei aktivem Generator ist neben dem Lastmanagement auch das Generatormanagement einschließlich der Schnittstelle zur Rekuperations-Funktion und die Energiemanagement-Schnittstelle zu anderen Systemen, wie z. B. Motormanagement.

Schalten von Verbrauchern

Das Lastmanagement koordiniert das Zu- und Abschalten von Verbrauchern, um Leistungsspitzen zu reduzieren. Zudem kann im Vorfeld von hochdynamischen Schaltvorgängen der Schaltwunsch dem Generatormanagement mitgeteilt werden, um die Erregung des Generators frühzeitig einzuleiten und damit die Spannungsstabilität zu erhöhen. Die Steuerung der Hochleistungsheizsysteme (Frontscheibenheizung und PTC-Zuheizer) übernimmt ebenfalls das Lastmanagement.

Auch im Fahrbetrieb ist die Sicherstellung der Wiederstartfähigkeit die wesentliche Aufgabe des EEM. Bei kritischen Batteriezuständen sorgt das Lastmanagement für eine Reduzierung des elektrischen Leistungsbedarfs, um die Batterie möglichst schnell wieder zu laden. Insbesondere Komfortverbraucher mit Speicherverhalten (Heizsysteme) werden bevorzugt zurückgeschaltet, da durch eine intelligente Ansteuerung erreicht werden kann, dass wahrnehmbare Abweichungen vom Sollverhalten möglichst lange herausgezögert werden.

Der aus der Abschaltung von Verbrauchern resultierende Funktionsverlust wird vom Nutzer nur in Ausnahmefällen akzeptiert. Daher muss das Bordnetz so ausgelegt sein, dass diese Situationen nur selten auftreten. Spürbare Auswirkungen müssen dem Nutzer angezeigt werden, um das vom Normbetrieb abweichende Verhalten zu erklären.

Erhöhen der Generatorleistung

Alternativ zur Reduzierung des elektrischen Leistungsbedarfs kann durch eine

Motordrehzahlerhöhung die elektrische Leistungserzeugung des Generators erhöht werden (z. B. Leerlaufdrehzahlanhebung oder Verbot des Motorstopps bei Stopp-Start-Betrieb). Um z. B. die Leerlaufdrehzahl anzuheben, gibt das EEM über den Datenbus eine Anforderung an die Motorelektronik weiter.

Die genannten Maßnahmen haben direkten Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und sind daher ebenso wie die Komforteinbußen bei der Verbraucherabschaltung nur in Ausnahmefällen zulässig.

Beispiel einer verbrauchersparenden

Funktion: Rekuperation

Unter Rekuperation wird hier die Bremsenergie rückgewinnung über eine intelligente Ansteuerung des Generators verstanden. Diese Funktion erfordert einen über eine Schnittstelle steuerbaren Generator zur Vorgabe der Soll-Betriebsspannung sowie einen Batteriesensor zur Erkennung des Batteriezustandes. Die Funktion selbst kann in der Motorelektronik, einem Gateway, einem Bodycomputer oder direkt auf dem Batteriesensor partitioniert werden.

Während der Schubabschaltung wird dem Generator eine erhöhte Sollspannung vorgegeben, um die Batterie schnell zu laden. Die Erzeugung der elektrischen Leistung erfolgt in diesem Betriebspunkt ohne Kraftstoffverbrauch. In Fahrzuständen mit schlechtem Wirkungsgrad der elektrischen Leistungserzeugung wird die Generatorspannung abgesenkt und die Batterie entladen, um den Kraftstoffbedarf für die elektrische Leistungserzeugung zu minimieren.

Eine vollgeladene Batterie kann keine Ladung aufnehmen. Deshalb ist die Rekuperation nur mit einer teilgeladenen Batterie möglich (Partial State of Charge, PSOC). Das ist eine Abweichung von der konventionellen Ladestrategie, deren Ziel eine möglichst voll geladene Batterie ist. Ein für die Startfähigkeit notwendiger minimaler

Batteriezustand darf auf keinen Fall unterschritten werden, d. h., der aktuelle Batteriezustand muss bekannt sein.

Die Rekuperations-Funktion führt durch die erhöhte Zyklierung der Batterie sowie den Betrieb im teilentladenen Zustand zu einer schnelleren Batteriealterung und das Risiko von Säureschichtung steigt bei Nassbatterien. Der Einsatz von AGM-Batterien (Absorbent Glass Mat) zur Erhöhung des kritischen Energiedurchsatzes (Durchsatz in Ah über die Lebensdauer, der für die Lebensdauer kritische Durchsatz steigt um Faktor 2...3) und der Vermeidung von Säureschichtung wird daher empfohlen.

Der Rekuperations-Algorithmus muss den Einfluss von Spannungsänderungen auf die Verbraucher berücksichtigen, da diese wahrnehmbar sein können (z. B. Änderung der Drehzahl des Klimagebläses oder Lichtflackern). Zudem nimmt die Lebensdauer von Glühlampen mit steigender Spannung ab.

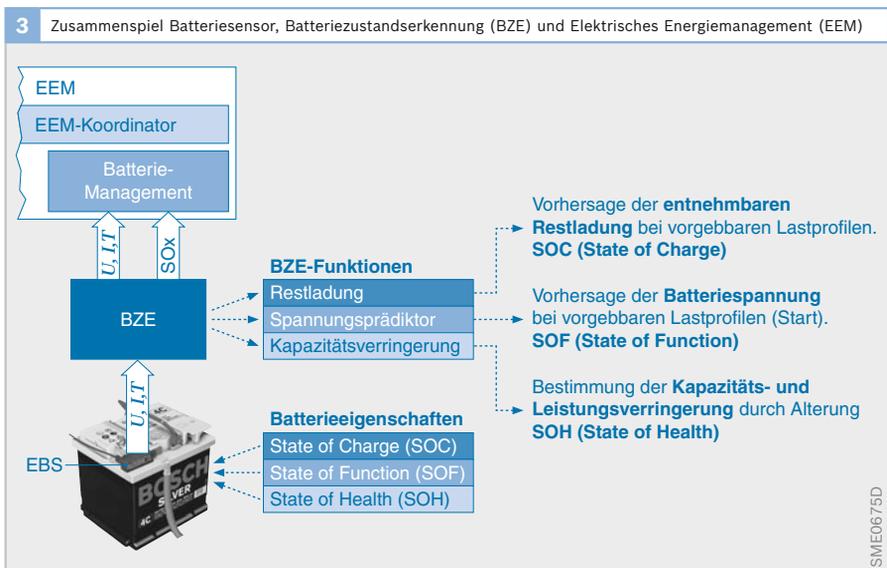
Die Rekuperation ermöglicht eine Kraftstoffersparnis im Bereich von 1,5...4 %, je nach Zyklus und Auslegung der Funktion.

Batteriezustandserkennung und Batteriemangement

Aufgabe

Eine wesentliche Voraussetzung für ein gutes EEM ist eine Batteriezustandserkennung (BZE), die die Leistungsfähigkeit der Batterie zuverlässig berechnet. Algorithmen für die Batteriezustandserkennung nutzen als Eingangsgrößen üblicherweise die Messgrößen Batteriestrom, -spannung und -temperatur. Auf Basis dieser Größen werden der Ladezustand (State of Charge, SOC), die Batteriezustand bzw. Leistungsfähigkeit (State of Function, SOF) und der Alterungsgrad (State of Health, SOH) der Batterie bestimmt und dem EEM als Eingangsgrößen zur Verfügung gestellt (Bild 3).

Zur Messung der Batteriegrößen wird ein Batteriesensor verwendet, der den Batteriestrom und die -spannung direkt misst. Die Batterietemperatur wird über eine Temperaturmessung in der Nähe der Batterie bestimmt, da die direkte Messung der Säuretemperatur der Batterie im Fahrzeug einen Eingriff in die Batterie erfordern würde, der aktuell nicht möglich ist.



Beispiel

Beispiel für eine Funktion der BZE ist die Startfähigkeitsbestimmung auf Basis des SOF. Beim SOF wird das zukünftige Verhalten der Batterie bei Belastung mit dem Startstrom vorhergesagt. Das heißt, die BZE bestimmt den Batteriespannungseinbruch bei einem vorgegebenen Startstromprofil (Bild 4). Da das minimale Spannungsniveau für einen erfolgreichen Start bekannt ist, liefert der vorhergesagte Spannungseinbruch ein Maß für die aktuelle Startfähigkeit. Abhängig vom Abstand des vorhergesagten Spannungseinbruchs zur Startfähigkeitsgrenze definiert das EEM Maßnahmen zum Erhalt oder zur Verbesserung der Startfähigkeit.

Batteriesensor (EBS)

Die Erfassung der Batteriemessgrößen Strom, Spannung und Temperatur muss sehr genau, dynamisch und zeitsynchron sein. Insbesondere die Messung von Strömen im Bereich einiger mA bis hin zu Startströmen von mehr als 1000A stellt eine hohe Anforderung an die Sensorik dar. Der Elektronische Batteriesensor (EBS) ist direkt am Batteriepol platziert und mit der Polklemme kombiniert (Bild 5). Da die Polnische nach DIN 72 311 genormt ist, ist keine Applikation an unterschiedliche Batterien erforderlich.

Der Strom wird mit Hilfe eines speziellen Shunts aus Manganin gemessen. Kernstück der elektrischen Schaltung des Batteriesensors ist ein ASIC, das u. a. einen leistungsstarken Mikroprozessor zur Messwert erfassung und -verarbeitung enthält. Auf diesem Mikroprozessor werden auch die Algorithmen der Batteriezustandserkennung abgearbeitet. Die Kommunikation mit übergeordneten Steuergeräten erfolgt z. B. über den LIN-Bus.

Der Batteriesensor kann neben der Berechnung des Batteriezustands für das EEM auch für weitere Funktionen genutzt werden. Zum Beispiel kann die präzise Erfassung von Strom und Spannung auch zur geführten Fehlersuche in Produktion und Werkstätten genutzt werden (z. B. Suche von fehlerhaften Ruhestromverbräuchern).

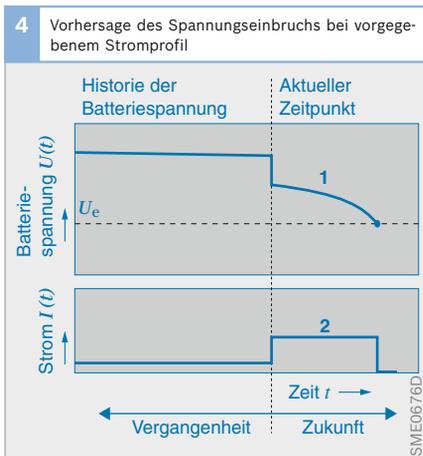


Bild 4

- 1 Vorhersage des Batteriespannungsvorgangs für das vorgegebene Startstromprofil
- 2 virtuelles Startstromprofil

U_e Vergleichswert für Startfähigkeitsvorhersage

Bordnetzkenngößen

Ladezustand

Definition des Ladezustands

Der Ladezustand der Batterie (SOC, State of Charge) gehört zu den wichtigsten Kenngrößen im Bordnetz. Er kann definiert werden als Verhältnis von der noch in der Batterie gespeicherten Ladungsmenge (aktueller Ladezustand) zu der maximalen Ladungsmenge, die die vollgeladene neue Batterie speichern kann.

$$\text{SOC} = \frac{Q_{\text{ist}}}{Q_{\text{max}}}$$

Der Wert Q_{max} ergibt sich, wenn die voll geladene Batterie mit dem Entladestrom I_{20} - das entspricht dem zwanzigsten Teil der Nennkapazität in Ampere (bei einer 100-Ah-Batterie sind das 5 A) - bis zum Erreichen von 10,5 V entladen wird. Die Ladungsmenge, die während dieses Entladevorgangs entnommen wurde, entspricht Q_{max} .

Da somit Q_{max} nur durch eine Messung zugänglich ist, bietet sich häufig auch die Definition durch die nomiale Kapazität der Batterie an, die auf dem Etikett zu finden ist, wobei dann gilt: $Q_{\text{max}} = K_{20}$ (nominal).

Die aktuell gespeicherte Ladungsmenge Q_{ist} ergibt sich aus der Differenz von Q_{max} und der Ladungsmenge, die beim Entladen der vollgeladenen Batterie entnommen wurde. Somit kann der Ladezustand einer Batterie nicht ohne weiteres über Q_{ist} ermittelt werden.

Der Ladezustand der Batterie korreliert direkt mit der Säuredichte, wobei weiterhin die Ruhespannung der Batterie proportional zur Säuredichte ist. Als Ruhespannung wird der Spannungswert bezeichnet, der sich ergibt, wenn sich nach dem Lade- oder Entladevorgang der Batterie ein stabiler Endwert einstellt. Aufgrund langsam ablaufender Diffusions- und Polarisationsvorgänge in der Batterie kann das u. U mehrere Tage dauern. Die Ruhespannung wird an den Anschlussklemmen gemessen.

Bild 1

- 1 Ruhespannung für die unbelastete Batterie
- 2 U_{Batt} bei + 20°C
- 3 U_{Batt} bei - 10°C

Der Ladezustand kann dann folgendermaßen definiert werden:

$$\text{SOC} = \frac{(U_{\text{aktuell}} - U_{\text{min}})}{(U_{\text{max}} - U_{\text{min}})}$$

Mit

U_{aktuell} : momentane Ruhespannung.

U_{max} : Ruhespannung der vollen Batterie (SOC = 100 %).

U_{min} : Ruhespannung der Batterie bei SOC = 0 %. Da die Abhängigkeit der Ruhespannung vom Ladezustand bei niedrigen Ladezuständen (ca. kleiner 20 %) nicht-linear wird, muss hier der auf SOC = 0 % linear extrapolierte Wert eingesetzt werden.

Somit ist es möglich, aus der gemessenen Ruhespannung auf den Ladezustand zu schließen.

Ladezustandserkennung bei Fahrzeugstillstand

Im Fahrzeug kann die exakte Ruhespannung bei Fahrzeugstillstand nicht bestimmt werden, da Ruhestromverbraucher permanent einen Ruhestrom von einigen mA verursachen. Dieser Strom führt zu einem von der Batterietemperatur abhängigen Spannungseinbruch (Bild 1). Eine stabile Spannung stellt sich nach ca. 4 Stunden ein, sofern die Batterie in diesem

