

Aufgabe A16.1:

Analyse von Betriebsdaten

Beschreiben Sie den Betrieb des Fahrzeugs, dessen Bordnetzspannung in Abb. 16.2 gezeigt wurde.

Lösung

Bei der Interpretation von Messdaten ist es im ersten Schritt immer wichtig, die Messtechnik und ihre Systemumgebung zu kennen.

1. Bei dem verwendeten Datenlogger handelt es sich um einen einfachen, nicht geeichten Datenlogger. Es ist also nicht möglich, aus den Absolutwerten Rückschlüsse auf eine korrekte bzw. optimale Ladeerhaltungsspannung zu schließen.

Die allgemeine Spannungslage zeigt aber, dass es sich eindeutig um ein 24V-Bordnetz handelt, und auch ohne Wissen um die verwendete Batterietechnologie ist klar, dass es sich um Blei-Säure-Batterien handelt.

2. Während der Messung wurden keine Temperaturdaten erfasst. Veränderungen der Spannung durch das Ladegerät oder die Lichtmaschine, die durch Temperaturänderungen der Batterie verursacht werden, können somit nicht bewertet werden.

Die Linie A zeigt, dass die maximale Ladeerhaltungsspannung nicht immer gleich ist. Ohne Temperaturdaten kann das nicht bewertet werden

3. Bei Spannungsmessungen muss immer darauf geachtet werden, dass während des Betriebs keine Lastströme über die Messleitung fließen oder dass eine 4-Punktmessung genutzt wird. Bei dieser Messung erfolgte der Spannungsabgriff direkt an den Batteriepolen, so dass die Spannungsmessung sauber ist. Überprüfen ließe sich das anhand der Daten nur, wenn gleichzeitig auch die Stromdaten vorliegen würden.
4. Es wurde immer der aktuelle Spannungswert alle 5 Sekunden gespeichert. Ein sehr kurzer Spannungseinbruch z.B. durch einen Startvorgang führt somit nicht unbedingt zu einem Spannungseinbruch auf ca. 20 V. Markierung B zeigt kurze leichte Spannungsabsenkungen während einer Ladeerhaltungsphase. Gründe dafür sind nicht bekannt, für den Betrieb, den Ladezustand und die Lebensdauer aber nicht relevant.

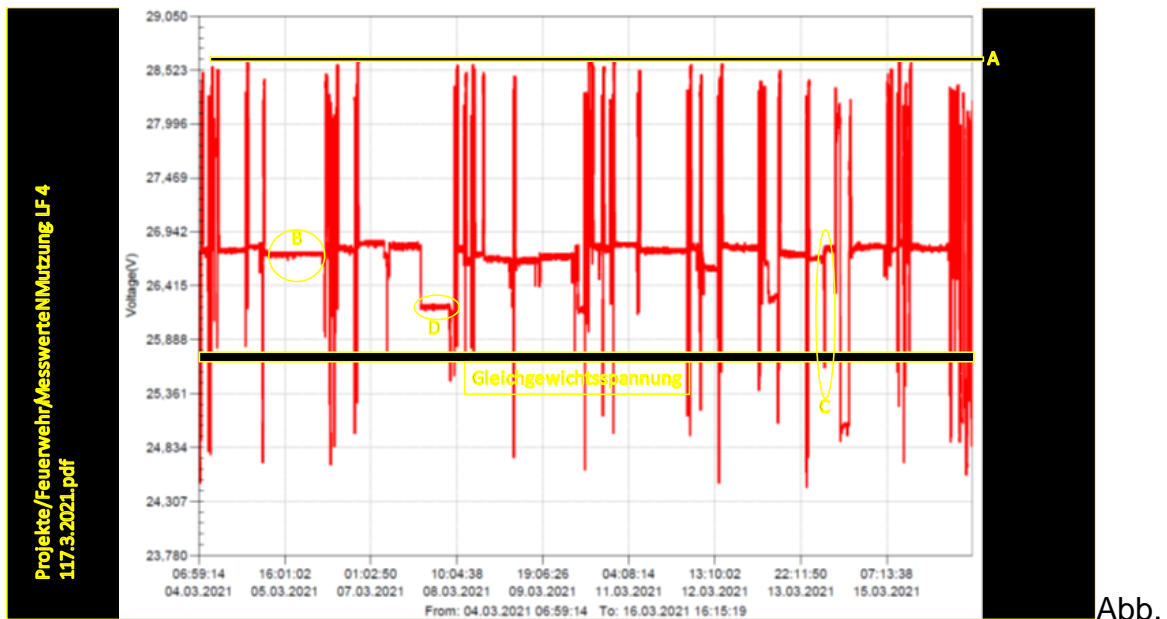


Abb. A16.1: Spannungsverlauf der Bordnetzspannung eines Rettungsfahrzeuges, mit einigen Zusatzmarkierungen.

Zur genauen Analyse des Betriebs ist es erforderlich, auf die Messdaten (ca. 200000 Spannungsdaten) zurückzugreifen. Das ist im Rahmen dieses Lehrbuchs nicht möglich.

- Die Daten zeigen den Spannungsverlauf über 11 Tage. Aus den Daten (deutlicher Spannungseinbruch gefolgt von der Spannung der Lichtmaschine gefolgt von einer, der Lichtmaschine zuordenbaren hohen Ladespannung) kann abgeschätzt werden, dass ca. 40 Motorstarts mit anschließender Ladung durch den Verbrennungsmotor erfolgten, also ca. 4 Starts pro Tag. Die Betriebsdauer des Verbrennungsmotors insgesamt betrug nur wenige Stunden. Linie A zeigt, dass die Ladespannung des Verbrennungsmotors nicht konstant zu sein scheint.
- Die Batterie wurde abgesehen von Motorstarts und gelegentlichen sonstigen Belastungen, z.B. Markierung C, immer über der Gleichgewichtsspannung betrieben. Bereich C zeigt einen Spannungseinbruch unter die Gleichgewichtsspannung vom Ladeerhaltungsbetrieb aus, gefolgt von einem erneuten Betrieb am Ladegerät.
- Die meiste Zeit war das Fahrzeug an ein Ladegerät bei einer Spannung von ca. 26,7 V angeschlossen, wobei die Spannung sich gering stufenartig verändert. Die einfachste Erklärung ist, dass das Ladegerät nicht ausreichend dimensioniert ist, und bei Einschalten oder Ausschalten von Dauerverbrauchern eines Rettungsfahrzeuges (Funk, Beleuchtung, etc.) nicht ohne Spannungsänderung diese Lasten versorgen kann.
- Markierung D zeigt eine deutliche Absenkung der Batteriespannung auf ca. 13.2 V, entweder weil das Ladegerät nach der davor liegenden langen Dauerladung die Spannung reduziert (allerdings auf einen ungewöhnlich niedrigeren und nicht mehr normgerechten Wert) oder weil das Ladegerät in dieser Phase einen Zusatzverbraucher versorgen muss und die vorgegebene Ladespannung nicht mehr halten kann.

Aufgabe A16.2:

Bordnetztopologien

Skizzieren Sie spezifische Energiespeicherlösungen für

a) ein autonom fahrendes Fahrzeug mit einer redundantes Versorgung des 12 V-Bordnetzes, und

b) ein Schienenfahrzeug mit Dieselantrieb, das sowohl den Motorstart, als auch die Zugbeleuchtung und betriebsnotwendige Verbraucher wie Steuerung und Kommunikationseinrichtungen versorgen muss.

und markieren Sie die spezifischen Besonderheiten.

Lösung

Bei der Entscheidung für eine bestimmte Schaltungstopologie, die besondere Anforderungen erfüllen muss, kann es eine „beste“ Lösung nur dann geben, wenn die Bewertungskriterien sehr klar sind und auch quantifiziert werden können.

Bedingung dafür ist, dass im Vorfeld alle in Frage kommenden unterschiedliche Bordnetzkonzepte aufgezeichnet worden sind. Die folgenden Überlegungen zeigen die Vorgehensweise

a) Autonom fahrendes Fahrzeug mit redundantem 12V Bordnetz

Die Stromversorgung von Systemen, deren Ausfall gravierende Konsequenzen hat, muss immer mit besonderer Sorgfalt erfolgen. Oft wird das durch eine redundante Stromversorgung erreicht, also durch die Nutzung von zwei unabhängigen Stromversorgungen, die den Betrieb des Systems bei Ausfall einer Stromversorgung weiter ermöglichen.

Im Betrieb eines Fahrzeugs wird das 12V-Bordnetz entweder aus einer Traktionsbatterie über einen DC/DC-Wandler gespeist, oder aus einem Verbrennungsmotor über die Lichtmaschine und Spannungsregler. Da das Bordnetz von einer 12V-Batterie gepuffert wird, kann die Versorgung aller Fahrzeugsysteme mit Strom weiter erfolgen, selbst wenn DC/DC-Wandler, Lichtmaschine oder Regler ausfallen.

Zur Erreichung einer maximalen Sicherheit muss aber ein Ausfall der Bordnetzatterie überbrückt werden können. Anforderungen an die Stromversorgung, die dann sicherheitsrelevante Systeme übernehmen muss, sind z.B.:

- Unterbrechungsfreie Stromversorgung, d.h. dass es keinen Spannungseinbruch beim Ausfall der normalen Stromversorgung gibt oder dieser so kurz ist, dass die angeschlossenen Verbraucher dadurch nicht beeinträchtigt werden (z.B. Dauer<1ms).
- Batterie, die dauerhaft parallel zum Bordnetz geschaltet ist, oder, bei Traktionsbatterien Nutzung eines zweiter DC/DC-Wandler.
- Schutz der redundanten Stromversorgung gegen Kurzschluss im Bordnetz, z.B. durch Dioden
- Sicherstellung einer ständigen Vollladung (Blei-Säure-Batterie) oder eines hohen Ladezustands (Lithium-Ionen-Batterie) der redundanten Batterie

- Ausreichend großer Energieinhalt bzw. Überbrückungszeit
Die Überbrückungszeit richtet sich nach der erforderlichen Zeit, die benötigt wird, um das Fahrzeug zum Stehen zu bringen oder einem Fahrer erlaubt, wieder die Kontrolle des Fahrzeugs zu übernehmen.
- Überwachung der redundanten Batterie, z.B. durch ständige integrierte Messung des Innenwiderstands
- Zur Sicherherstellung der Funktion bei Fehlern in den Leitungen zwischen Bordnetzbatteie und Sicherheitssystem ist ein direkter Anschluss der zweiten Batterie an die Verbraucher mit möglichst kurzen Leitungen ratsam.

Abb. A16.2.1 zeigt zwei Vorschläge zur Gestaltung des Bordnetzes, links für ein 12V-Bordnetz eines konventionellen Fahrzeugs und rechts für ein Elektrofahrzeug. Zur Trennung des gesicherten Verbrauchers vom Bordnetz bei Fehlern im Bordnetz oder zur Parallelschaltung des gesicherten Verbrauchers mit dem Bordnetz ist ein Trennschalter eingezeichnet. Weitere ggf. erforderliche Schutzmaßnahmen sind nicht dargestellt.

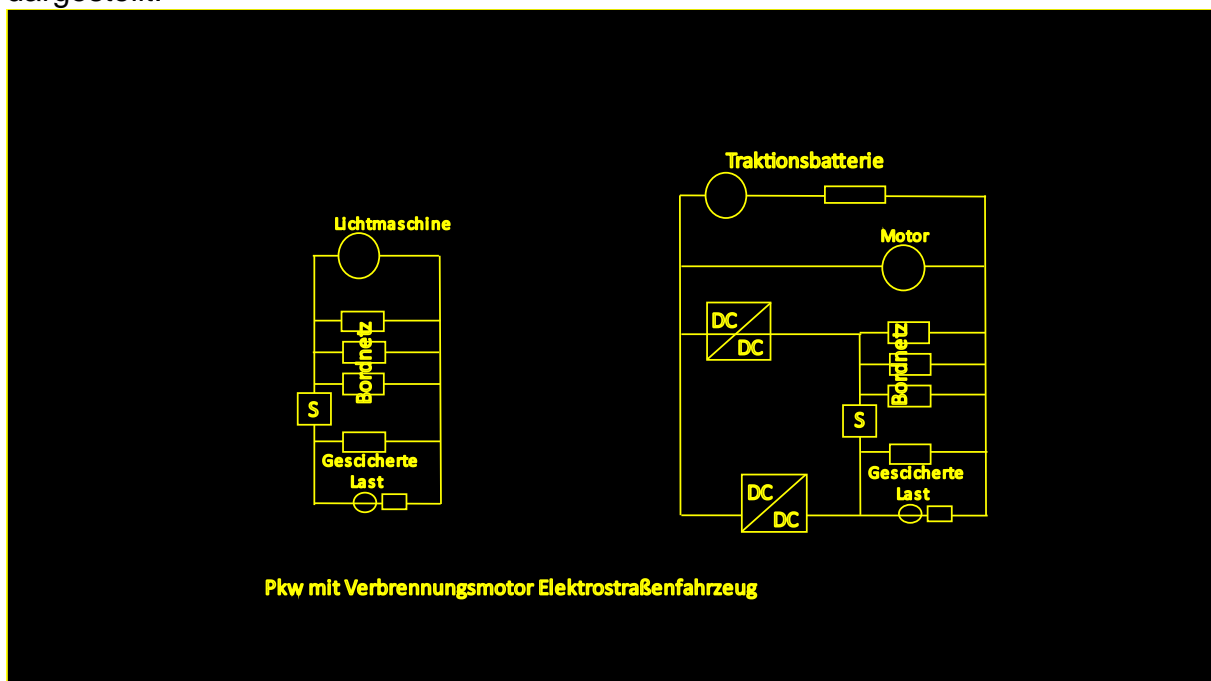


Abb. A16.2.1: Mögliche Bordnetztopologien von Fahrzeugen zur Versorgung einer gesicherten Last

b) Schienenfahrzeug mit Dieselmotor

Die Anforderungen an ein Batteriesystem für ein Schienenfahrzeug mit Dieselmotor und für einen Pkw mit Verbrennungsmotor scheinen sich auf den ersten Blick nicht zu unterscheiden. Bei Schienenfahrzeugen wird die Bordnetzbatteie aber viel stärker zyklisiert als bei Pkw, bei denen die Batterie nur selten genutzt wird, um Verbraucher zu versorgen, wenn der Verbrennungsmotor nicht läuft. Bei Schienenfahrzeugen ist ferner mit viel höherem Ruhestromverbrauch zu rechnen als bei Pkw und die Leitungen für die Versorgung der Verbraucher sind viel länger..

Um die Batterien vor ständiger zyklischer Belastung zu schützen, werden beispielhaft folgende unterschiedliche Konzepte vorgestellt.

1. Nutzung konventioneller, vergleichsweise sehr preiswerte Batterien aus dem Lkw-Bereich, die als „Verbrauchsmaterial“ betrachtet werden und dann zur Sicherstellung des Betriebs regelmäßig nach kurzen Zeiten (z.B. nach einem Jahr) ausgetauscht werden.
2. Nutzung von Lithium-Ionen-Batterien statt Blei-Säure-Batterien, deren zyklische Belastbarkeit viel größer ist.
3. Nutzung von Blei-Säure-Batterien mit hoher Zyklenfestigkeit, z.B. aus dem Traktionsbereich mit PzS-Platten.
4. Einsatz von zwei getrennten Batteriesystemen, von denen das eine nur für den Start genutzt wird, und das andere für die Bordnetzversorgung der Verbraucher bei Motorstillstand.

Zu 1

Sowohl aus Kostengründen (nicht nur Einkaufspreis für die Batterien sondern auch Zusatzarbeit für Batteriewechsel) und Umweltgründen (Ressourcenschonung, Vermeidung von Sondermüll) ist dieses Konzept eine wenig attraktive Lösung.

Zu 2

Schienenfahrzeuge müssen auch bei sehr tiefen Temperaturen im Winter gestartet werden können. Die Batterie muss also noch bei -25°C eine ausreichende Startleistung liefern können. Lithium-Ionen-Batterien, die das können, müssten eine sehr hohe Kapazität haben, was sie noch weiter verteuert, oder sie müssten an ihrem „Parkplatz“ geheizt werden.

Des Weiteren muss die Batterie auch im Betrieb thermisch isoliert werden bzw. geheizt werden, damit bei Fahrten bei sehr tiefen Temperaturen die Batterie nicht auskühlt.

Die Zukunft wird zeigen, ob diese Option genutzt wird, auch unter Berücksichtigung der Transformation des Verkehrswesens – Elektromobilität muss ja sicher auch bedeuten, dass Schienenfahrzeuge mit Dieselmotor ein Auslaufmodell sein werden.

Zu 3:

Der Innenwiderstand von PzS-Batterien ist deutlich höher als der von Starterbatterien mit pastierten Platten. Die Batterien müssten deshalb eine höhere Kapazität haben. Höherer Preis und höhere Kapazität machen dieses Lösungskonzept wirtschaftlich wenig attraktiv.

Zu 4:

Eine Trennung der Bordnetzversorgung in zwei Teile, einen zum Starten und einen zur Versorgung der Verbraucher wie Zuglicht, Steuerungen, Funk, etc. wirft sofort die Frage auf, ob es dann auch zwei getrennte Lichtmaschinen geben soll bzw. muss, oder ob die beiden Kreise miteinander verbunden sind. Abb. A16.2.2 zeigt einen Vorschlag dazu. Dieses Konzept wird in bestimmten Diesel-Schienenfahrzeugen der Deutschen Bahn genutzt.

Es gibt zwei unterschiedliche Stromversorgungsgeräte bzw. Ladegeräte, die beide entweder über die Lichtmaschine des Verbrennungsmotors oder über einen Netzanschluss bei abgestelltem Fahrzeug versorgt werden. Starter- und

Bordnetzbatterien können unterschiedliche Batterietypen sein und auch unterschiedliche Nennspannungen haben.

Eine Redundanz beider Stromkreise kann bei Nutzung geeigneter, bidirektionaler Stromversorgungsgeräte erzielt werden. So könnte im Prinzip bei problematischen Startbedingungen die Batterie des Bordnetzkreises genutzt werden, um Energie an den Starterkreis zu transferieren.

Die Bordnetztopologie von Abb. A16.2.2 enthält auch die Leitungswiderstände im Starterkreis (R_1 und R_2) und im Bordnetz (R_V) wobei hier alle Widerstände zu den einzelnen Verbrauchern einzeln betrachtet werden müssen.

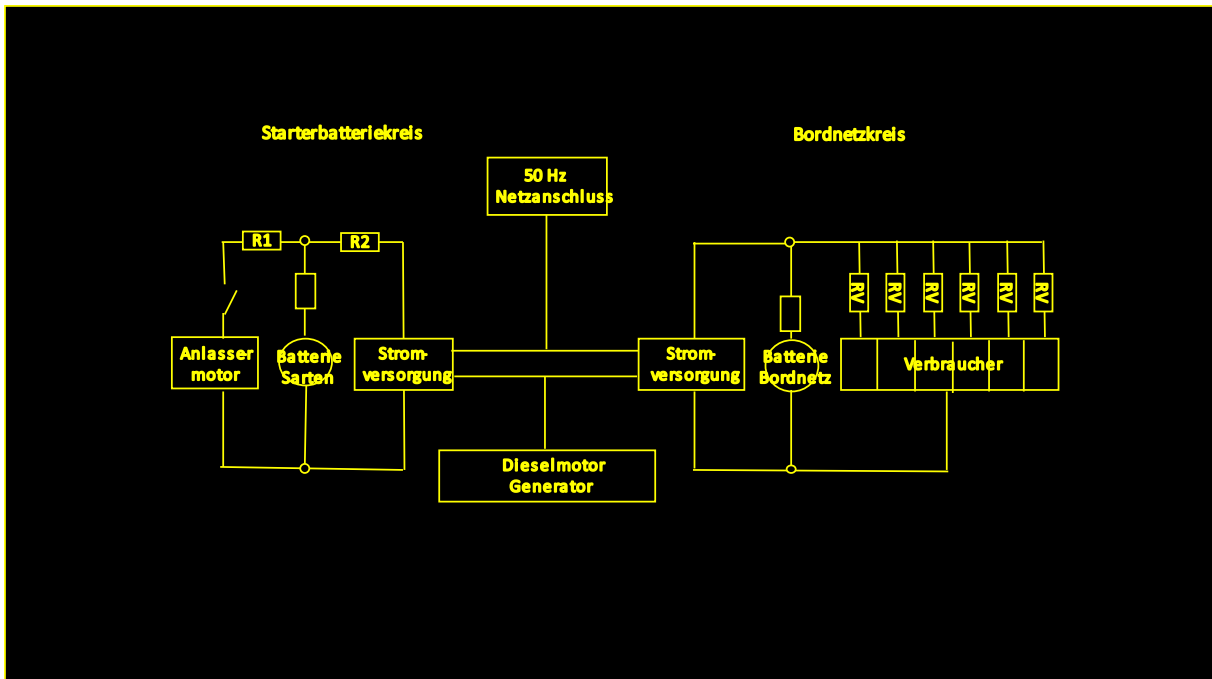


Abb. A16.2.2: Bordnetztopologie eines Schienenfahrzeugs mit Dieselmotor mit zwei getrennten Stromkreisen

Aufgabe A16.3:
Batterien für pSoC-Betrieb

Welche konstruktiven Veränderungen ergeben sich durch den pSoC-Betrieb bei Blei-Starterbatterien im Start-Stopp-Betrieb?

Lösung

pSoC-Betrieb (partial State of Charge) beschreibt einen Betrieb von Batterien, bei dem die Batterie die meiste Zeit in einem undefinierten Ladezustand betrieben wird. Für Lithium-Ionen-Batterien ist diese Betriebsart unproblematisch, für Blei-Säure-Batterien aber die denkbar schlechteste Betriebsweise.

Blei-Säure-Batterien, die nicht regelmäßig eine Vollladung (vollständige Umwandlung der entladenen Aktivmassen in geladene Aktivmassen) erhalten, sulfatieren (Bildung immer größerer Bleisulfatkristalle, die dann einer Ladung immer schwerer zugänglich sind) und bilden eine Säureschichtung aus, die Korrosionsprozesse beschleunigt und durch die weitere Vergrößerung von Strominhomogenitäten die Wiederaufladbarkeit und Leistungsfähigkeit reduziert.

Die Frage nach konstruktiven Änderungen bezieht sich nicht nur auf die Batterie, sondern auch auf das Gesamtsystem.

Änderungen des Gesamtsystems

- Der Leistungsbedarf der Batterie ist nicht veränderbar, es sei denn, dass die Start-Stop-Funktion selber modifiziert wird. Das Leistungsangebot zur Wiederaufladung der Batterie ist dagegen durch Vorgabe der Ladespannung möglich. Dabei ist aber zu beachten, dass eine dauerhafte Erhöhung der Ladespannung von z.B. 14V auf z.B. 14,8 V zwar zu einem höheren Ladezustand führt, gleichzeitig aber die Korrosionsprozesse deutlich beschleunigt.
- Eine selektive Erhöhung der Ladespannung, z.B. nur alle paar Tage und bevorzugt bei längeren Fahrten (das Fahrzeug weiß über das Navigationssystem häufig, was die Fahrtstrecke sein wird) wäre eine günstigere Option.

Konstruktive Maßnahmen an der Batterie

- Eine möglichst schnelle Ladung der Batterie erfordert neben einer hohen Ladespannung, damit der Ladestrom so spät wie möglich abgeregelt wird und eine gute Ladungsaufnahmefähigkeit der Batterie. Dies kann durch Additive erreicht werden, wobei einige Additive auch die Gasentwicklung in der Zelle hemmen. Eine Hemmung der Gasentwicklung bedeutet aber auch, dass Säureschichtung durch die interne Gasblasenentwicklung in der Batterie nicht schnell beseitigt werden kann. Bzgl. Dieser Additive muss somit ein Kompromiss gefunden werden.
- Die Reduzierung der Gasentwicklungsrate durch Additive ist eine notwendige Bedingung für den Bau von Batterien, die über die gesamte Lebensdauer

nicht mit Wasser nachgefüllt werden müssen („wartungsfrei nach DIN“). Um diese „Wartungsfreiheit“ zu erhalten, ist eine Option, das Elektrolytvolumen zu vergrößern.

- Zur Beseitigung von Säureschichtung haben sich Einsätze bewährt, die die durch Fahrtbewegung ausgelöste Bewegung des Elektrolytspiegels ausnutzen (Mammutpumpen-Prinzip). Dadurch erfolgt ständig, wie bei Elektrolytumwälzungssystemen mit externen Pumpen eine ständige Durchmischung des Elektrolyten und Säureschichtung wird aufgehoben.
- In Aufgabe A12.4 wurden weitere Überlegungen zur Reduzierung der Säureschichtung in Batterien diskutiert, die ebenfalls genutzt werden können.