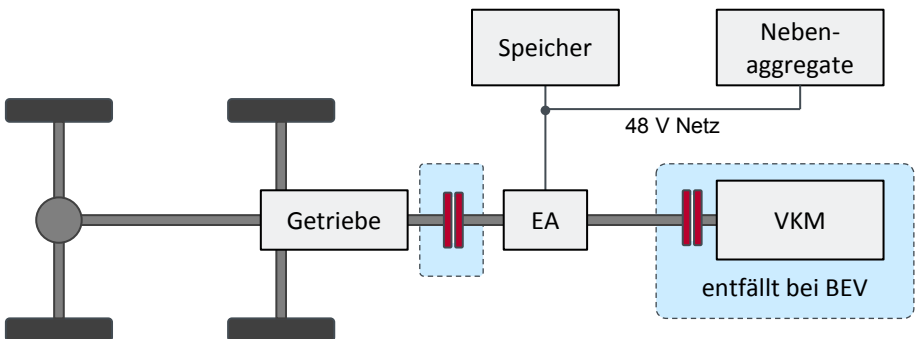


Forschungsberichte
Elektrische Antriebstechnik und Aktorik

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling

Andreas Baumgardt

48 V Energiespeicher im Kraftfahrzeug



48 V Energiespeicher im Kraftfahrzeug

Andreas Baumgardt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Universität der Bundeswehr München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation.

Gutachter:

1. Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling
2. Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker

Die Dissertation wurde am 09.10.2017 bei der Universität der Bundeswehr München eingereicht und durch die Fakultät für Elektro- und Informationstechnik am 29.03.2018 angenommen. Die mündliche Prüfung fand am 27.04.2018 statt.

Forschungsberichte Elektrische Antriebstechnik und Aktorik

Band 31

Andreas Baumgardt

48 V Energiespeicher im Kraftfahrzeug

Shaker Verlag
Aachen 2018

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.

Zugl.: München, Univ. der Bundeswehr, Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6064-5

ISSN 1863-0707

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit verschiedenen Energiespeicheranwendungen in Kraftfahrzeugen auf der Spannungsebene 48 V. Das Ziel dieser Arbeit ist die Darlegung des ausgezeichneten Kosten-Nutzen-Verhältnisses von 48 V Systemen sowohl für Hybrid- als auch für rein elektrische Fahrzeuge. Mit der Betrachtung und Optimierung der jeweiligen Speichersysteme in dieser Arbeit kann ein Beitrag zur Attraktivitätssteigerung von Elektromobilität erbracht werden.

Nach einer Einleitung werden die Grundlagen von Batterie- und Kondensatorspeichern sowie von elektrischen Antriebssystemen im Automobilbereich betrachtet. Anschließend wird ein umfangreiches Simulationsmodell vorgestellt, welches zur Ermittlung von Verbrauchswerten von konventionellen Fahrzeugen, Hybrid- und Elektrofahrzeugen genutzt werden kann. Ein besonderer Fokus liegt hier auf den Energiespeichermodellen verschiedener Speichertechnologien.

Für die Anwendung in Hybridfahrzeugen wird die Optimierung des Rekuperationsspeichers detailliert betrachtet. Als Grundlage werden die Simulationsergebnisse des beschriebenen Modells verwendet. Nach einer Anforderungsanalyse wird ein Vergleich der Speichertechnologien Batterie- und Kondensatorspeicher für diese Anwendung durchgeführt. Insbesondere wird die Anbindungsoption des Speichers durch einen Gleichspannungswandler anhand einer Auslegung untersucht.

Weitergehend befasst sich die Arbeit mit der Thematik 48 V Traktion. Dieses vergleichsweise junge Forschungsgebiet ermöglicht die Darstellung hoher Traktionsleistungen heutiger Fahrzeuge auf einer sicheren Spannungsebene mit ausgezeichnetem Systemwirkungsgrad. Anhand von theoretischen und messtechnischen Untersuchungen werden die Eigenschaften des 48 V Traktionsspeichers analysiert. Im Vergleich zu Hochvolt-Speichern ergeben sich hier Vorteile durch die hohe Parallelisierung, welche eine deutliche Reduzierung der Systemkomplexität bewirkt.

Danksagung

Der Aufwand und die notwendige Willensstärke auf dem Weg zum Dokortitel werden oft unterschätzt – so auch von mir. Dennoch bereue ich meine Entscheidung nicht, diesen Weg eingeschlagen zu haben. Meiner Zeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter verdanke ich meinen heutigen Wissensstand, ein ausgezeichnetes Netzwerk an fachlichen Kontakten sowie viele Freundschaften und besondere Erinnerungen.

An erster Stelle gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling für die engagierte Betreuung meiner Arbeit. Durch viele Gespräche, Anregungen und das Vertrauen in meine Arbeit hat Herr Gerling mich während der gesamten Promotion durchgehend unterstützt, was die Durchführung dieser Arbeit erst möglich gemacht hat.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Böcker danke ich für die bereitwillige Übernahme des Koreferates sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Stefan Lindenmaier für die Übernahme des Vorsitzes in der Prüfungskommission.

Eine besondere Erfahrung und eine große Unterstützung waren für mich das hervorragende menschliche Umfeld am Lehrstuhl. Ganz herzlich bedanke ich mich bei allen Kollegen und Begleitern an diesem Lehrstuhl für die tolle familiäre Atmosphäre. Hervorheben möchte ich hier die Familie Köbler, Herrn Dr.-Ing. Harald Hofmann, Herrn Dr.-Ing Benno Lange und Herrn Florian Bachheibl für fortwährende Unterstützung und Motivation.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Frau Sara für das viele Verständnis und die Rücksichtnahme, was mir einen großen Rückhalt während der Arbeit gegeben hat.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Motivation.....	1
1.2. Zielsetzung.....	2
1.3. Gliederung der Arbeit.....	3
2. Energiespeicher und Kraftfahrzeuge	5
2.1. Speichertechnologien.....	5
2.1.1. Klassifizierung von Energiespeichern.....	5
2.1.2. Kondensatorspeicher.....	6
2.1.3. Lithium-Ionen-Batterie	14
2.2. Elektrische Antriebssysteme in Kraftfahrzeugen	22
2.2.1. 48 V Spannungsebene.....	22
2.2.2. Gliederung von Hybridfahrzeugen.....	23
2.2.3. Einsatzgebiete für Energiespeicher im Fahrzeug.....	26
3. Simulationsmodell zur Bewertung von Speicherkonzepten	29
3.1. Einordnung des Gesamtmodells	29
3.2. Überblick des Gesamtmodells.....	31
3.3. Fahrzeugmodell.....	33
3.4. Rekuperationssystem	40
3.4.1. Control / Regelung	41
3.4.2. Lithium-Ionen-Batterie	41
3.4.3. Supercap-Speicher	50
3.4.4. Elektrischer Antrieb	52
3.5. Verbrennungskraftmaschine.....	54

3.6. Plausibilitätskontrolle des Simulationsmodells.....	56
3.6.1. Fahrzyklen	56
3.6.2. Fahrzeuge.....	58
3.6.3. Simulation von Verbrauchswerten	59
4. 48 V Rekuperationsspeicher	63
4.1. Anforderungen	63
4.1.1. Energieinhalt und Leistung	63
4.1.2. Allgemeine Kenngrößen.....	67
4.1.3. Zusatzfunktionen	67
4.2. Speichertechnologien.....	69
4.3. Lithium-Ionen-Batterien.....	70
4.3.1. Rekuperationsspeichermodul aus Batteriezellen	71
4.3.2. Rekuperationspotential der Batteriemodule.....	75
4.3.3. Alterung.....	84
4.3.4. Betrachtung sonstiger Kenngrößen	85
4.4. Superkondensatoren	86
4.4.1. Speichermodul aus Superkondensatorzellen	86
4.4.2. Rekuperationspotential	88
4.4.3. Alterung von Supercaps	91
4.4.4. Betrachtung sonstiger Kenngrößen	95
4.5. Kombination von Speicher und Leistungselektronik.....	96
4.5.1. Anforderungen an den DC/DC-Wandler	97
4.5.2. Auslegung des Wandlers.....	98
4.5.3. Mehrwert des DC/DC-Wandlers	105
4.5.4. Hybridspeicher	107
4.6. Vergleich der Speichertechnologien	108
5. 48 V Traktionsspeicher	113
5.1. ISCAD – 48 V Traktion.....	113
5.2. Zellkonfiguration	116

5.3. Theoretische Betrachtung parallel geschalteter Zellen	117
5.3.1. Kapazitätsabweichung von Zellmodulen	117
5.3.2. Einfluss der Parallelschaltung auf die Lebensdauer	119
5.3.3. Einfluss defekter Zellen auf den Gesundheitszustand des Batteriepacks ..	121
5.3.4. Battery Management System	123
5.3.5. Ausgleichsströme parallel geschalteter Zellen	125
5.3.6. Erkenntnisse der theoretischen Betrachtung.....	125
5.4. Messtechnische Untersuchung parallel geschalteter Zellen	126
5.4.1. Zellkontaktierung.....	126
5.4.2. Kapazitätsmessung	127
5.4.3. Versuchsdurchführung.....	129
5.4.4. Energiebilanz bei Reihen- und Parallelschaltung.....	133
5.5. Weiterführende Impulse zur 48 V Traktionsbatterie.....	137
6. Fazit	141
Literaturverzeichnis	143
Abkürzungsverzeichnis.....	149
Publikationen	151
Anhang.....	153
A. Herleitungen zum Synchronwandler.....	153
B. Lebensdauerersuch mit Supercaps	154