

Christoph Reiter

Thermische Vorauslegung
hochbelasteter Batteriesysteme
für Elektrofahrzeuge in der
Konzeptphase

Berichte aus der Fahrzeugtechnik

Christoph Reiter

Thermische Vorauslegung hochbelasteter Batteriesysteme für Elektrofahrzeuge in der Konzeptphase

Shaker Verlag
Düren 2021

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, Techn. Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7838-1

ISSN 0945-0742

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Thermische Auslegung hochbelasteter Batteriesysteme für Elektrofahrzeuge

Christoph Reiter, M.Sc.

– Überblick über das Dissertationsvorhaben –

Hintergrund

Die Traktionsbatterie eines Elektrofahrzeugs ist einer Vielzahl unterschiedlicher, häufig gegensätzlicher Anforderungen unterworfen. Neben der Kernaufgabe der Erfüllung der elektrischen Leistungsanforderungen, vorgegeben durch Fahrzyklus und Ladeleistung des Fahrzeugs, müssen auch die Sicherheit und eine ausreichende Lebensdauer des Batteriesystems sichergestellt werden. Eine besondere Herausforderung stellen hierbei der Einsatz unter extremen Umgebungstemperaturen und der aktuelle Trend, hin zum Schnellladen, dar. Ein entscheidender Hebel, um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist das Thermomanagement des Batteriesystems.

Das thermische Verhalten eines Batteriesystems wird durch das elektrische und thermische Verhalten der zugrundeliegenden Lithium-Ionen-Zellen und dem Thermomanagementkonzept des Batteriepacks bestimmt. Zusätzliche, nicht zu vernachlässigende Einflüsse ergeben sich durch das Thermomanagement des Gesamtfahrzeugs. Je nach Systemkomplexität – von simplen passiven Ansätzen bis hin zu komplex verschalteten Kreisläufen – treten thermische Wechselwirkungen des Batteriesystems mit den Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs und dem Klimatisierungssystem des Fahrzeuginnenraums. Die Vielzahl der technischen Lösungsmöglichkeiten auf den einzelnen Systemebenen und deren gegenseitige Beeinflussung, führen zu einer hohen Zahl an Freiheitsgraden. Dies erschwert die Suche nach der optimalen thermischen Auslegung des Batteriesystems für ein gegebenes Fahrzeugkonzept und den dazugehörigen Anforderungen.

Stand der Wissenschaft und Forschungslücke

Es existieren einige Vorarbeiten zur Auslegung von Batteriesystemen für Elektrofahrzeuge. Diese spezialisieren sich häufig auf Teilaspekte, wie die elektrische und thermische Auslegung auf Zellebene, dem Thermomanagement des Batteriepacks oder der Untersuchung unterschiedlicher Systemarchitekturen für das Gesamtfahrzeugthermomanagement. Auch wenn in den Untersuchungen eine ganzheitliche Auslegung unter Berücksichtigung aller Systemebenen angestrebt wird, liegt der Fokus häufig nur auf einer Systemebene und andere Aspekte werden vereinfacht. Dies führt zu einer nicht hinreichenden Berücksichtigung wesentliche Einflüsse auf das Gesamtkonzept. Weiterhin betrachten bisherige Arbeiten häufig Speziallösungen und benötigen detaillierte Systemparameter, die in der frühen Konzeptphase eines Elektrofahrzeugs nicht vorhanden sind und diese Ansätze daher nur die Iteration aus einem bestehenden Konzept ermöglichen.

Das Ziel der vorliegenden Dissertation ist folglich die Entwicklung eines Verfahrens zur Unterstützung der thermischen Auslegung des Batteriesystems und dessen Integration in das Thermomanagementkonzept des Gesamtfahrzeugs. Hierbei sollen alle relevanten Einflüsse auf die Systemebenen Batteriezelle, -pack und Gesamtfahrzeug berücksichtigt werden und die optimale thermische Auslegung in Abhängigkeit eines gegebenen Fahrzeugkonzepts gefunden werden.

Gewähltes Vorgehen

Der Auslegungsprozess erfolgt schrittweise, mit wachsenden Betrachtungshorizont. Für jede Systemebene wurden geeignete Simulationsmodelle entwickelt.

Zunächst wird aus den zur Verfügung stehenden Lithium-Ionen Zellen in Abhängigkeit der geforderten Reichweite, Spannungslage und Maximal- bzw. Dauerleistung die elektrische Verschaltung der Zellen bestimmt. Hierbei werden auch die elektrischen Effekte in Parallelschaltungen berücksichtigt, die sich durch Parameterstreuungen durch Produktionsabweichungen zwischen den Zellen ergeben. Zusätzlich beinhaltet die Betrachtung eine Untersuchung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens besonders ungünstiger Kombinationen. Im nächsten Schritt werden die Zellen in Abhängigkeit des Fahrzeugpackages geometrisch angeordnet und das Batteriesystem modularisiert.

Zur Auslegung des Batteriethermomanagements wird die erwartete Verlustleistung des Batteriesystems für unterschiedliche Belastungszyklen bestimmt. Hierbei wird die geometrische Anordnung der und der Wärmetransport zwischen den Zellen berücksichtigt um Bereiche hoher thermischer Belastung innerhalb des Batteriepacks zu identifizieren. Eine Simulation der Temperatursensorik des Batteriemagementsystems erlaubt die Prüfung der Überwachbarkeit kritischer thermischer Zustände. Ist eine aktive Temperierung des Batteriesystems notwendig, erfolgt eine automatisierte Auswahl geeigneter Methoden wie Luftkühlung, bzw. Wasserkühlung mittels Kühlplatten oder Kühlschläuchen, wobei auch die unterschiedliche thermische Anbindung an zylindrische, prismatische und Pouch-Zellen berücksichtigt wird. Nach Auslegung des Batteriepackkonzepts sind dessen thermische Eigenschaften bekannt, wodurch die dadurch beeinflussten elektrischen Eigenschaften erneut überprüft werden können.

Im letzten Schritt wird das Batteriesystem in das Thermomanagement des Gesamtfahrzeugs integriert. Hierzu werden unterschiedliche Architekturen des Fahrzeugthermomanagements untersucht und vielversprechende Ansätze unterschiedlicher Komplexität und Leistungsfähigkeit ausgewählt. Dies erlaubt die Bewertung der tatsächlich abführbaren Wärme aus dem Batteriesystem und der Betrachtung des Potentials der thermischen Kopplung mit dem Klimatisierungssystem des Fahrzeugs bzw. den weiteren Antriebsstrangkomponenten. Nach Auswahl des geeigneten Fahrzeugthermomanagements wird das Gesamtkonzept final auf seine Eignung überprüft.

Ergebnisse

Im Rahmen der Arbeit wurden drei detaillierte Simulationsmodelle in Matlab/Simulink entwickelt. Das elektrisch/thermisches Batteriesystemmodell erlaubt die die Betrachtung der Effekte in Seriell- und Parallelschaltungen sowie der elektrisch/thermischen Wechselwirkungen auf Zellebene. Das Batteriethermomanagementmodell dient der Simulation unterschiedlicher technischer Lösungen und Systemarchitekturen zur Temperierung des Batteriesystems und beinhaltet den Algorithmus zur automatisieren Speicherconfiguration. Das Fahrzeugthermomanagementmodell simuliert beliebige Systemarchitekturen auf Fahrzeugebene und bildet auch die weiteren thermisch relevanten Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs ab. Alle Modelle werden bis zum Abschluss der Dissertation unter einer Open-Source Lizenz veröffentlicht.

Die Anwendung des Verfahrens auf unterschiedlichen Anforderungen unterworfenen Elektrofahrzeugkonzepte erlaubt die Ableitung allgemeiner Auslegungsempfehlungen und die Identifikation relevanter Wechselwirkungen der einzelnen Systemebenen. Die Modularität und einfache Erweiterbarkeit der Simulationsmodelle erlauben die Weiterverwendung in zukünftigen Arbeiten.

Veröffentlichungen

Ebert, Fabian; Sextl, Gerhard; Adermann, Jörn; **Reiter, Christoph**; Lienkamp, Markus (2017): Detection of cell-stack inhomogeneities via mechanical SOC and SOH measurement. In: 2017 IEEE Transportation and Electrification Conference and Expo (ITEC). Chicago, Illinois, June 22-24, 2017. Piscataway, NJ: IEEE, S. 545–549.

Gewald, Tanja; **Reiter, Christoph**; Lin, Xue; Baumann, Michael; Krahl, Thilo; Hahn, Alexander; Lienkamp, Markus (2018): Characterization and Concept Validation of Lithium-Ion Batteries in Automotive Applications by Load Spectrum Analysis. In: 31st International Electric Vehicles Symposium & Exhibition (EVS 31) & International Electric Vehicle Technology Conference (EVTec). Kobe Convention Center, 30.09.2018-03.10.2018. Japan Automobile Research Institute; Society of Automotive Engineers of Japan. Kobe, Japan.

Gewald, Tanja; **Reiter, Christoph**; Lin, Xue; Baumann, Michael; Krahl, Thilo; Hahn, Alexander; Lienkamp, Markus (2018): Characterization and Concept Validation of Lithium-Ion Batteries in Automotive Applications by Load Spectrum Analysis. In: *World Electric Vehicle Journal. Extended Conference-Paper, In Review*.

Reiter, Christoph; Dirnecker, Johannes; Lienkamp, Markus (2019): Efficient Simulation of Thermal Management Systems for BEV. In: 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Grimaldi Forum, Monaco, 08.05.2019-10.05.2019. IEEE. *Angenommen*.

Reiter, Christoph; Lin, Xue; Schlereth, Lars-Eric; Lienkamp, Markus (2019): Finding the Ideal Automotive Battery Concept. A Model-Based Approach on Cell Selection, Modularization and Thermal Management. In: *Forschung im Ingenieurwesen. Vorläufig angenommen, Full-Paper in Review*.

Reiter, Christoph; Wassiliadis, Nikolaos; Lienkamp, Markus (2019): Design of Thermal Management Systems for Battery Electric Vehicles. In: 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Grimaldi Forum, Monaco, 08.05.2019-10.05.2019. IEEE. *Angenommen*.

Reiter, Christoph; Wassiliadis, Nikolaos; Wildfeuer, Leo; Wurster, Thilo; Lienkamp, Markus (2018): Range Extension of Electric Vehicles through Improved Battery Capacity Utilization: Potentials, Risks and Strategies. In: 2018 IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Maui, HI, USA, 04.11.2018 - 07.11.2018: IEEE, S. 321–326.

Reiter, Christoph; Wildfeuer, Leo; Wassiliadis, Nikolaos; Krahl, Thilo; Dirnecker, Johannes; Lienkamp, Markus (2019): A Holistic Approach for Simulation and Evaluation of Electrical and Thermal Loads in Lithium-Ion Battery Systems. In: 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Grimaldi Forum, Monaco, 08.05.2019-10.05.2019. IEEE. *Angenommen*.

Wassiliadis, Nikolaos; Adermann, Jörn; Frericks, Alexander; Pak, Mikhail; **Reiter, Christoph**; Lohmann, Boris; Lienkamp, Markus (2018): Revisiting the dual extended Kalman filter for battery state-of-charge and state-of-health estimation. A use-case life cycle analysis. In: *Journal of Energy Storage* 19, S. 73–87.

Wassiliadis, Nikolaos; Herrmann, Thomas; Wildfeuer, Leo; **Reiter, Christoph**; Lienkamp, Markus (2019): Comparative Study of State-of-Charge Estimation with Recurrent Neural Networks. In: IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). IEEE. *Angenommen*.

Wildfeuer, Leo; Wassiliadis, Nikolaos; **Reiter, Christoph**; Baumann, Michael; Lienkamp, Markus (2019): Experimental Characterization of the Resistance of Li-Ion Batteries on Cell-, Module- and Pack-Level. In: 2019 Fourteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER). Grimaldi Forum, Monaco, 08.05.2019-10.05.2019. IEEE. *Angenommen*.