

# Potential eines energieoptimalen Batterie-Thermomanagements im Elektrofahrzeug

Dipl.-Ing. **Andre Suchaneck**; Prof. Dr.-Ing. **Fernando Puente León**,  
Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

## Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt eine Methode zur fahrverlaufsabhängigen Steuerung von Heiz- und Kühlsystemen für das Batterie-Thermomanagement zur Verminderung des Energieverbrauchs und auftretender elektrischer Verluste im Elektrofahrzeug vor. Dazu wird von einem gegebenen Versuchsfahrzeug, einem bekannten Fahrzyklus und bekannten Umweltbedingungen ausgegangen und die Dynamische Programmierung zur Berechnung der optimalen Steuerung genutzt. Diese energieoptimale Strategie berücksichtigt die thermischen Grenzen der Batterie, deren Alterungseinfluss, Fahrleistungsgrenzen und den weiteren Fahrverlauf. Durch eine zusätzliche Steuergröße wird bei der Optimierung gleichzeitig eine energieoptimale Strategie für das regenerative Bremsen unter Beachtung der elektrischen und thermischen Grenzen der Batterie bestimmt. Es werden Simulationen von einem Versuchsfahrzeug vorgestellt, die eine Potentialbewertung erlauben.

## Abstract

In this paper an energy optimal control of heating and cooling systems for battery thermal management depending on the driving cycle is presented. Based on a prototype vehicle setup, a given driving cycle and defined ambient conditions, the energy optimal control is determined using Dynamic Programming. The method takes the thermal limits of the battery, its cycle ageing influence, traction power limits and future driving profile into account. Simultaneously an energy optimal control strategy for regenerative braking considering the electric and thermal battery limits is determined by using an additional control variable. The potential of the method is evaluated based on simulations of a prototype electric vehicle.

## 1. Einleitung

Ein bestehendes Problem heutiger Elektrofahrzeuge ist die unzureichende Energiedichte der Energiespeicher und damit auch die begrenzte Reichweite. Entsprechend große Anstrengungen werden unternommen, um dieses Problem zu lösen. Dazu gehört die Verringerung des Verbrauchs durch Heizen und Kühlen des Fahrzeuginnenraums und der Batterie, was prinzipiell zu einer deutlichen Reduzierung der Reichweite um bis zu 40% führen kann [1].

Bild 13: Vergleich des Energieverbrauchs und der Kosten  $J = f(dSOC, \Lambda, \alpha)$  bezogen auf schwellwertbasierte Strategie.

## 6. Schlussfolgerungen und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Methode zum energieoptimalen Batterithermomanagement vorgestellt. Ausgehend von einzelnen Möglichkeiten zur Reduktion der elektrischen Verluste und des erforderlichen Energieaufwands, wurde mithilfe der Dynamischen Programmierung eine fahrverlaufsabhängige energieoptimale Steuerungsstrategie für das Batterie-Thermomanagement unter Berücksichtigung des Einflusses auf die Batteriealterung und des Fahrerwunsches bestimmt. Anhand von Simulationen wurde gezeigt, dass mit der vorgestellten Methode eine Verbesserung des Thermomanagements erreicht wird, diese aber wesentlich von der Gewichtung des Lebensdauereinflusses abhängt und somit für jede Batterie gesondert untersucht werden muss.

Die Methode wird im Rahmen des Forschungsprojekts hinsichtlich ihres Rechenaufwands optimiert und zur Berücksichtigung des Thermomanagements des Gesamtfahrzeugs um die Innenraumklimatisierung erweitert.

## Literatur

- [1] Beetz, K., Kohle, U. und Eberspach, G.: Innenraumheizkonzepte für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, in J. Hofhaus (Hrsg.): PKW-Klimatisierung VI, Band 107. expert Verlag 2009
- [2] Pesaran, A.: Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions. Proceedings of Advanced Automotive Battery Conference, Las Vegas. 2001
- [3] Vlahinos, A. und Pesaran, A.: Energy Efficient Battery Heating in Cold Climates, Society of Automotive Engineers 2002
- [4] Back, M.: Prädiktive Antriebsregelung zum energieoptimalen Betrieb von Hybridfahrzeugen, Universitätsverlag Karlsruhe 2006

- [5] Lux, G., Winter, S., Hofmann, P. und Geringer, B.: Thermomanagement zur Verbrauchsabsenkung in Hybridantriebssträngen, in P. Steinberg (Hrsg.): Wärmemanagement des Kraftfahrzeugs VI. expert Verlag 2008
- [6] Romaus, C., Gathmann, K. und Böcker, J.: Optimal energy management for a hybrid energy storage system for electric vehicles based on Stochastic Dynamic Programming. Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). 2010, S. 1-6
- [7] Kutter, S., Bäker, B. und Langhammer, S.: eVehicleLib - Eine Modelica-Bibliothek zur Simulation von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben. 20. Symposium Simulationstechnik, ASIM 2009, Cottbus, 23.-25. September. 2009
- [8] Gross, O. und Clark, S.: Optimizing Electric Vehicle Battery Life through Battery Thermal Management. SAE 2011 World Congress & Exhibition, April 2011, Detroit, MI, USA, Session: Advanced Battery Technology (Part 2 of 2). 2011
- [9] Barnitt, R. A., Brooker, A. D., Ramroth, L., Rugh, J. und Smith, K. A.: Analysis of Off-Board Powered Thermal Preconditioning in Electric Drive Vehicles. 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition. 2010
- [10] Andrea, D.: Battery Management Systems for Large Lithium Ion Battery Packs, Artech House 2010
- [11] Vetter, J., Novak, P., Wagner, M., Veit, C., Moller, K., Besenhard, J., Winter, M., Wohlfahrt-Mehrens, M., Vogler, C. und Hammouche, A.: Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. Journal of Power Sources 147 (1-2), 2005, S. 269-281
- [12] Heckenberger, T.: Thermal Management For Hybrid Vehicles, Behr GmbH & Co. KG 2009
- [13] Neumeister, D., Wiebelt, A. und Heckenberger, T.: Systemeinbindung einer Lithium-Ionen-Batterie in Hybrid- und Elektroautos. ATZ 04-2010, 2010, S. 250-255
- [14] Buford, K., Williams, J. und Simonini, M.: Determining Most Energy Efficient Cooling Control Strategy of a Rechargeable Energy Storage System. SAE 2011 World Congress & Exhibition, April 2011, Detroit, MI, USA, 2011
- [15] Jung, M., Kemle, A., Strauss, T. und Wawzyniak, M.: Innenraumheizung von Hybrid- und Elektrofahrzeugen. ATZ 05-2011 (113), 2011, S. 296-401
- [16] Sundström, O. und Guzzella, L.: A Generic Dynamic Programming Matlab Function. Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Control Applications, Saint Petersburg, Russia. 2009, S. 1625-1630
- [17] Föllinger, O.: Optimierung dynamischer Systeme, R. Oldenbourg Verlag GmbH München 1985