

# Wachstumskern Auto-Tram – Verbundprojekt: Verkehrssystemtechnik für hochkapazitive, nachhaltige Transportsysteme zwischen Bus und Bahn.

TP 3: Grundlagen und Methodik zur Auslegung kompakter Synchronmotoren mit innovativer Kühltechnik für hocheffiziente vollelektrische Antriebsstränge

BMBF FKZ: 03WKBP01C

2008 – 2011

## Zusammenfassung:

Bestehende Transportsysteme in Großstädten weisen oft nicht die erforderliche Transportkapazität auf oder sind zu unflexibel. Daher soll im Rahmen des Wachstumskerns AutoTram ein neues Transportsystem für den Nahverkehr entwickelt werden, das die Vorteile der großen Beförderungskapazität einer Straßenbahn mit der Flexibilität des Transportweges eines Busses verbindet. Die Umsetzung eines solchen Transportmittels ist nur als Hybridfahrzeug möglich. Wesentlicher Bestandteil des Antriebsstrangs in Hybridfahrzeugen sind die Elektromotoren, die normalerweise wassergekühlt ausgeführt sind.

Zur Realisierung der Entwicklungsziele und der Umweltfreundlichkeit ist kompakter und dennoch hoch effizienter Elektromotor notwendig. In Ergänzung zur Entwicklung des Motors mit hohem Wirkungsgrad sollen Regelverfahren erforscht werden, die einen wirkungsgradoptimalen Betrieb des Antriebs erzielen.

Zur Erreichung des Entwicklungsziels der kleinen Baugröße wird anstelle der herkömmlichen Wasserkühlung für den Motor ein neues Kühlverfahren entwickelt. Für den Aufbau einer energieeffizienten Motorregelung unter fahrzeugtypischen Randbedingungen werden die klassischen Verfahren hinsichtlich minimaler Verluste in Motor und Frequenzumrichter und hinsichtlich Dynamik und Drehmomentwelligkeit optimiert und erweitert, sowie neuartige direkte Regelverfahren untersucht.

Für eine Synchronmaschine mit vergrabenen Magneten im Rotor wurde das Verfahren der Querkühlung durch Kühlluft entwickelt und angewandt. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Querkühlung eine hohe Materialausnutzung mit sich bringt, da die Kühlrippen auch den magnetischen Fluss führen, weil sie in Umfangsrichtung entlang der Statoroberfläche angeordnet sind. Es wurden allgemeingültige Berechnungsvorschriften für quergekühlte Motoren abgeleitet. Weiterhin wurde im Ergebnis von Optimierungsrechnungen eine Methodik zur verlustminimierten und momentgenauen Vorgabe der Steuergrößen für die Motorsteuerung entwickelt. Diese ist auch auf Asynchronmaschinen übertragbar.

Die gewonnenen Erkenntnisse zur Motorkühlung lassen sich verallgemeinern und auch auf Standard-Asynchronmotoren anwenden. Dadurch lassen sich höhere Wirkungsgrade erzielen, wie sie der Gesetzgeber in Zukunft fordert.

## Literatur:

Marco Festa: Berechnung elektrischer Maschinen auf gekoppelten elektromagnetischen und kühltechnischen Modellebenen am Beispiel quergekühlter Motoren, (Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben), Band 7, 198 Seiten, ISBN 978-3-8440-4034-0, Shaker Verlag, Aachen, Nov., 2015.

M. Festa, W. Hofmann: Improved Performance through Multifunctional Material Utilization - Circumferential Cooling for Electric Motors, 1st International Electric Drives Production Conference - EDPC, Nürnberg, 2011.

M. Festa, Y. Zhang, H.-D. Eberhardt, W. Hofmann: Extremely Efficient but Compact — A Circumferentially Cooled Induction Motor, IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems - ICEMS, Beijing, China, 2011.

M. Festa, H.-D. Eberhardt, W. Hofmann: Inter-laminar Flux and Eddy Current Losses in a Circumferentially Cooled Stator Core, IEEE International Conference on Electrical Machines - ICEM, Rom, Italy, 2010.

M. Festa, H.-D. Eberhardt, W. Hofmann: Advances in Power Density and Efficiency — Circumferentially vs. Conventionally Cooled Electric Motors, IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems - ICEMS, 2010.

M. Festa, H.-D. Eberhardt, W. Hofmann: Design Aspects of Circumferentially Cooled Frameless Machines, IEEE International Conference on Electrical Machines and Systems - ICEMS, Tokyo, Japan, 2009.

Thomas Windisch: Energieeffiziente Antriebsregelung für hochausgenutzte Drehstrommotoren in elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben. Band 16. (Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wilfried Hofmann Dresden). 166 Seiten, Shaker Verlag Aachen 2018

W. Hofmann: Traktionsmotoren im Antriebsstrang des Serien-Hybridbus AUTOTRAM. Elektrische Antriebstechnologie für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. (Hrsg.: H. Schäfer) Expert Verlag, Renningen 2014, S. 143-156.

T. Windisch, Z. Cai, W. Hofmann: Energieoptimale Fahrzeugsteuerung für einen elektrisch angetriebenen Doppelgelenk-Hybridbus im Linienbetrieb, VDE-VDI-Konferenz, Antriebssysteme Nürtingen 2013, ETG-Fachbericht 138, S. 81-86, 2013

T. Windisch, W. Hofmann: Loss Minimization Control and Efficiency Determination of Electric Drives in Traction Applications, 2nd Energy Efficient Vehicle Conference, Dresden, 2012.

T. Windisch, W. Hofmann: Energieeffizienz des Traktionsantriebs in einem seriell-hybriden Doppelgelenkbus, 1. Tagung Hybridnahverkehrsbusse, Haus der Technik Essen e.V., 2011. S.

T. Windisch, W. Hofmann: Loss Minimization of an IPMSM Drive Using Precalculated Optimized Current References, IEEE Industrial Electronics Conference - IECON, Melbourne, Australia, 2011. pp. 4704 – 4709

T. Windisch, W. Hofmann: Verlustminimierung einer geregelten PMSM mit Reluktanzeffekt als Fahrmotor für einen Serienhybrid, ETG-Fachtagung und Elektromobilausstellung - EMA, ETG Fachbericht 126, S. 127-132, 2010.