

Dr. Claudia Weise

Effizient in Serie fertigen

Die Motoren für die Elektrofahrzeuge von morgen werden heute zum Teil noch von Hand gefertigt und sind entsprechend teuer. Im Rahmen der Effizienzfabrik-Initiative entwickeln Forscher daher neue Konzepte und Verfahren für die Serienproduktion elektrischer Antriebe.

Bald schon könnte ein kostengünstiger und gleichzeitig qualitativ hochwertiger Elektromotor aus dem 3D-Drucker keine Zukunftsmusik mehr sein. Mit seiner Entwicklung befasst sich PriMa3D, eines von sieben neuen Forschungsprojekten unter dem Dach der Effizienzfabrik (siehe *Kasten*). „Ein Motor aus dem 3D-Drucker bietet zahlreiche Vorteile“, erklärt Projektkoordinator Gerd Krause von der Firma Ekra Automatisierungssysteme, „denn mit dieser Produktionsmethode sind völlig neuartige komplexe Geometrien denkbar, zum Beispiel Mikrokanäle zur Kühlung der stromführenden Drähte.“ Dadurch kann die Wärme gezielt dort abgeführt werden, wo sie entsteht, was die Lebensdauer des Motors erhöht.

Bisher werden Elektromotoren aus dünnen Blechen hergestellt, die bearbeitet, passgenau übereinander angebracht und durch Verkleben, Schweißen, Nieten oder Schrauben miteinander verbunden werden. Zur Vermeidung von Wirbelstromverlusten sind die Bleche untereinander durch Lack- oder Oxidschichten elektrisch isoliert. Bei diesem Verfahren verringert sich das magnetische Material pro Volumeneinheit, und die Materialauswahl im Ganzen ist begrenzt. „Dies schränkt die Gestaltungsfreiheit des Motors ein – auch im Hinblick auf die Kühlung“, so Gerd Krause über die Nachteile herkömmlicher Konzepte. Durch das gezielte Einstellen der Materialeigenschaften soll im Rahmen von PriMa3D zudem der

Die Effizienzfabrik

Die Effizienzfabrik ist eine gemeinsame Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und des VDMA. Zu den erfolgreich abgeschlossenen 31 Forschungsprojekten im Bereich „Ressourceneffizienz in der Produktion“ ist nun das neue Thema „Serienflexible Technologien für elektrische Antriebe von Fahrzeugen“ aus dem Bereich Elektromobilität hinzugekommen. Für diese vom Projektträger Karlsruhe betreuten Vorhaben sowie für die Effizienzfabrik stellt das BMBF im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ insgesamt 20 Millionen Euro zur Verfügung.

magnetische Fluss im Magnetkreis erhöht und gezielt dreidimensional geleitet werden. Weiterhin ist es das Ziel, den ohmschen Widerstand zu senken und damit die Verluste in den Wicklungen zu reduzieren.

Der dreidimensionale Siebdruck ist für die Forscher von PriMa3D deshalb erste Wahl, da er bereits erfolgreich für elektrotechnische Problemstellungen angewandt wird. Bei dem Verfahren werden eine oder mehrere Druckpasten Schicht für Schicht übereinander gedruckt, so dass ein „Grünkörper“ entsteht, dessen organische Bestandteile mittels einer Wärmebehandlung ausgetrieben werden. Der verbleibende „Braunkörper“ wird einer Sinterbehandlung unterzogen, bei



(Bild: Fotolia/Tom-Hanisich)

FALCON
FALCON ILLUMINATION MV GMBH & CO. KG

**LED-Beleuchtung.
Falcon bietet Qualität.**

Falcon Illumination MV GmbH & Co. KG
Phone 07136 9686-0
www.falcon-illumination.de

der sich die Pulverteilchen durch Diffusion miteinander verbinden und so ein stabiles Bauteil bilden. Durch diesen pulvermetallurgischen Ansatz ist es möglich, wesentliche Komponenten von Elektroantrieben endformnah in einem Stück zu fertigen, wobei Strukturfeinheiten bis zu 60 µm bei Bauteilhöhen im zweistelligen Zentimeterbereich angestrebt sind.

Existierende Vorarbeiten, die PriMa3D als Grundlage für die gesteckten Ziele verwenden kann, belegen, dass es möglich ist, den Siebdruck auf nahezu beliebige Materialsysteme und Anwendungen zu übertragen. Ein kritischer Punkt ist die erreichbare Druckhöhe. Ähnlich hohe Bauteile wurden bisher nur mit Siliziumkarbid erzielt, das eine geringere Dichte und eine bessere Stabilität bei der Wärmebehandlung aufweist als das metallbasierte Material, dessen genaue Zusammensetzung im Rahmen des Forschungsprojekts derzeit erarbeitet wird. Letztlich soll das Material ein gesteigertes Wärmeabgabevermögen aufweisen, die Wärmeleitung an die Oberfläche des Motors verbessern, die Masse reduzieren bei einer gleichzeitig erhöhten Festigkeit der Baugruppen, die elektrische Leitfähigkeit der Wicklung erhöhen, die der Isolation verringern und die magnetische Leitfähigkeit steigern beziehungsweise gezielt einstellen. Weiterhin sollen die

Das Projekt PriMa3D

Projektlaufzeit:
1. Dezember 2012 bis 30. November 2015

Projektpartner:

- Ekra Automatisierungssysteme, Bönningheim
- Fraunhofer IFAM, Dresden
- MP & L Produktions GmbH, Finsing
- Technische Universität Chemnitz
- Wittenstein, Igersheim

Isolationsstoffe dahingehend verbessert werden, dass auch extreme Einsatztemperaturen möglich sind.

Aktuell arbeiten die Forscher an einer Demonstrator-Druckmaschine, deren Konzeption auf dem zweidimensionalen Siebdruck aufbaut und die eine hohe Wiederholgenauigkeit im einstelligen Mikrobereich in allen drei Raumrichtungen bietet. Auch die Siebpositionierung und das Handling der neuen Druckpasten sollen an die Anforderungen des 3D-Drucks angepasst werden. Die elektrischen Wicklungen des Energiewandlers werden dabei mit Hilfe des 3D-Siebdruckverfahrens mit thermisch erheblich belastbaren Isolationsmaterialien versehen und automatisiert in die Hauptelemente integriert.

Im Hinblick auf einen großserientauglichen Produktionsprozess ist letztendlich angestrebt, die Herstellung von Elektromotoren um 25 % günstiger zu machen – und das bei einer beabsichtigten Verdoppelung der Leistungsdichte. Mehr Leistungsdichte bedeutet zudem, dass sich die Reichweite des Fahrzeugs erhöht, was vor allem im Winterhalbjahr von Vorteil ist, wenn im Fahrzeug zusätzlich zu den Motoren weitere elektrische Verbraucher in Betrieb sind.

GroAx: Herstellkosten um 60 % reduzieren

Unter dem Motto „Großserientaugliche Herstellverfahren für neuartige elektrische Axialflussmotoren“ sucht das Projekt GroAx (www.groax.de) nach Möglichkeiten, neue Motorenkonzepte zur Serienreife weiterzuentwickeln, um so die Massenproduktion voranzutreiben. Das Ziel des Verbundprojekts ist es, nicht nur das vom Starnberger Unternehmen Compact Dynamics vorentwickelte Mo-

torkonzept Dynax, sondern den gesamten Produktionsprozess zu optimieren und damit die Herstellungskosten um 60 % zu senken.

Bei Dynax handelt es sich um einen Axialflussmotor mit integrierter Leistungselektronik, der extrem kompakt gebaut und sehr energieeffizient ist. Er lässt sich im Kleinspannungsbereich unterhalb von 60 V betreiben. Dadurch ist er sicherer als herkömmliche Elektromotoren, die bei 300 bis 400 V arbeiten. Das Motorenkonzept zeichnet sich zudem durch ein hohes spezifisches Drehmoment von 75 Nm und einen sehr breiten Drehzahlbereich bis 10.000 Umdrehungen pro Minute aus. Die Maximalleistung von 25 kW stellt einen absoluten Benchmark für Elektromotoren der 48-V-Klasse dar.

Eine technische Besonderheit des Motors ist unter anderem eine tangential Wicklung, durch die Wickelköpfe komplett entfallen. Dies reduziert die Verluste des Motors und steigert den Leistungsgrad. Der kleine leichte Antrieb erreicht damit einen System-Wirkungsgrad (Elektromotor und Leistungselektronik) von mehr als 90 %. Allerdings handelt es sich beim Prozess der Tangentialwicklung um eine komplette Neuerfindung. „Es existiert hier kein bekannter Prozess aus dem Maschinenbau“, erklärt Projektkoordinator Oliver Schwab von Compact Dynamics.



(Bild: Compact Dynamics)

Der Ausgangspunkt für das GroAx-Projekt: Der Dynax 60i, ein Elektromotor mit integrierter Leistungselektronik. Durch seine kompakte Bauweise und das niedrige Systemgewicht von nur 14 kg ist er besonders geeignet als Antrieb für leichte Elektrofahrzeuge oder als Hybrid-Komponente.

Fernstudium SPS

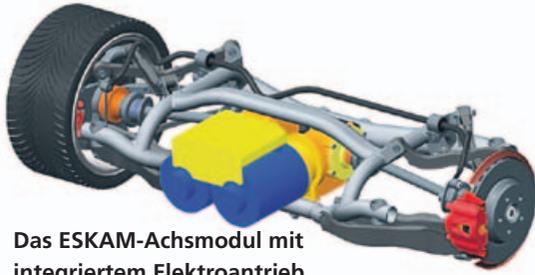
Nach IEC 61131. Inkl. STEP 7, TIA-Portal, CODESYS
FERNSCHULE WEBER
Tel. 0 44 87 / 263 - Abt: D73
www.fernschule-weber.de

FALCON
FALCON ILLUMINATION MV GMSHCOKG

LED-Beleuchtung.
Falcon hat die Richtige.

Falcon Illumination MV GmbH & Co. KG
Phone 07136 9686-0
www.falcon-illumination.de

(Bild: ESKAM)



Das ESKAM-Achsmodul mit integriertem Elektroantrieb.

Ergo gilt es, einen serienfähigen Prozess für die Verarbeitung einer Hochfrequenz-Kupfer-Litze eigens zu entwickeln, um die Kontaktierung trotz eines Hochtemperatur-Isolierlackes zu ermöglichen.

Das Projekt GroAx

Projektlaufzeit:

01. September 2012 bis 28. Februar 2015

Projektpartner:

- CirComp, Kaiserslautern
- Compact Dynamics, Starnberg
- Hochschule Landshut
- Institut für Verbundwerkstoffe (IVW), Kaiserslautern
- MS-Schramberg Sinter, Schramberg
- Technische Universität Chemnitz

Die mechanische Funktion des Statorträgers im Motor wird bei dem innovativen Antrieb durch einen integrierten Flüssigkeitskühler ergänzt. So wird die Wärme dort abgeführt, wo sie entsteht – im Bereich der Wicklung. Zugleich besteht die Herausforderung, thermische Spannungen zwischen dem relativ kalten Kühler und den heißen Aktivteilen des Motors auszugleichen. Stator und Tangentialwicklungen werden derzeit vergossen, um einen mechanischen Schutz der weichmagnetischen Bauteile zu erreichen, Wirbelstromeffekte zu reduzieren und die thermische Entwärmung zu verbessern.

Zunächst wurde bei GroAx ein Spritzgussprozess zur Umspritzung des Statorpakets untersucht. Letztlich fiel die Entscheidung, den Spritzguss aus dem Projekt zu nehmen, weil eine fertigungsoptimierte Integration nicht möglich war. Für die Ramp-up-Phase, also den Produktionsanlauf, werden daher vergussähnliche Prozesse (Casting, Druckgellerverfahren) favorisiert.

Der Magnetring für den Rotor soll aus kunststoffgebundenem Magnetpulver in einem Arbeitsgang gepresst und magneti-

siert werden. Dies reduziert die Teilezahl in der Produktion drastisch von 3×80 Magnetpaaren auf drei Magnetringe. Zudem entfallen zeitlich aufwendige Positionierungs- und Klebprozesse.

Auch an einer vereinfachten Herstellung der Rotorglocke mittels eines 3D-Nasswickelverfahrens wird gearbeitet. Hierbei werden die Magnetringe auf einen Wickeldorn aufgeschoben und anschließend in einem komplexen Wickelverfahren zwei doppelfallende Rotorglocken hergestellt. Als Werkzeug ist lediglich ein einfacher Wickeldorn erforderlich, der im Umlauf wieder verwendbar ist. Die NC-gesteuerte Wickelmaschine ermöglicht eine prozessüberwachte, automatisierte Fertigung.

Ein weiterer Ansatz zur Kostenoptimierung ist der Entfall eines Rotorlagegebers, der beim langsamen Drehen des Antriebs die genaue Positionierung des Rotors zum Stator ermittelt. Für das sanfte Anfahren des Elektrofahrzeugs ohne den teuren und aufwendigen Pol-Lagesensor (Sensor zur Bestimmung der Magnetflussrichtung des Läufers) soll ein bereits existierendes Regelverfahren zur Messung der elektromotorischen Kraft weiterentwickelt werden, bei dem sich die Sättigungseffekte im Statoreisen zur Auswertung nutzen lassen.

ESKAM: Leicht durch Integration der Achsen

Auch das Verbundprojekt ESKAM (Elektrisch Skalierbares Achs-Modul) legt einen Schwerpunkt auf die Verringerung des Gewichts der Elektromotoren. Hintergrund ist: Die aktuell genutzten Synchronmotoren mit Permanentmagneten sind zu schwer, zu teuer und zu groß. „Um das gesamte Fahrzeug leichter zu machen, konzentrieren wir uns im Projekt auf die Optimierung der Antriebsachsen“, erläutert Projektkoordinator Wolfgang Pflug von Groschopp. Dazu soll ein Antrieb mit entsprechender Leistungselektronik in das Achsmodul integriert werden.

Ziel von ESKAM ist es, das Gewicht des Antriebes auf maximal 100 kg zu begrenzen. Hierzu gilt es, schnell drehende E-Maschinen mit entsprechenden Getrieben zu koppeln und in einem gemeinsamen Gehäuse zu integrieren – also ein Downsizing des Antriebes mit dem Ein-

Das Projekt ESKAM

Projektlaufzeit:

1. Juli 2012 bis 30. Juni 2015

Projektpartner:

- Ebm Erich Büchele Maschinenbau, Meitingen
- Fachhochschule Düsseldorf
- Fraunhofer IWU, Chemnitz
- Groschopp, Viersen
- Hirschvogel Automotive Group, Denklingen
- Hochschule für Technik und Wirtschaft, Aalen
- Metallgießerei Wilhelm Funke, Alfeld
- Refu Elektronik, Pfullingen
- Salzgitter Hydroforming, Crimmitschau
- Universität Stuttgart
- Wilhelm Vogel Antriebstechnik, Oberboihingen

satz so genannter High-Speed-E-Maschinen. „Dabei kommen ausschließlich solche Elektromotoren zum Einsatz, die nicht auf Permanentmagnete beziehungsweise auf sich immer weiter vertuernde seltene Erden wie Neodym und Samarium angewiesen sind“, erläutert Wolfgang Pflug.

Im Einzelnen soll der Elektroantrieb aus zwei identischen elektrisch erregten, elektronisch kommutierten Motoren und Getrieben bestehen, die zusammen mit der Leistungselektronik in einem Gehäuse untergebracht und zu einem Antriebsachsmodul verbaut werden. Da die Bemessungsdrehzahlen der Motoren zwischen 10.000 und 20.000 Umdrehungen pro Minute liegen, finden Übersetzungsgetriebe Verwendung, die für diese hohen Drehzahlen ausgelegt sind. Der Leistungsbereich des Motors soll zwischen 20 und 50 kWh skalierbar sein. Die Herstellkosten des Achsantriebsmodules würden zwischen 1000 und 2000 Euro und damit deutlich unter dem aktuellen Durchschnittspreis von mehr als 5000 Euro liegen. gh



Dr. Claudia Weise

ist verantwortlich für die Öffentlichkeitsarbeit der Effizienzfabrik.