

Innovationen für die Elektromotorenproduktion von morgen



Von neuen Prozesstechnologien, Automatisierungslösungen bis hin zu Industrie 4.0-Ansätzen

Forschungsbereich Elektromaschinenbau

Neue Anforderungen an die Elektromotorenproduktion

Durch die Verbreitung der Elektromobilität wird sich die hiesige Automobilindustrie grundlegend verändern. Neben leistungsfähigen Batterien müssen effiziente Antriebe entwickelt werden, die den strikten Anforderungen der Automobilindustrie hinsichtlich Kosten, Qualität, Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit gerecht werden. Beim Elektromotor ist vor allem die Reduzierung des Bauraums, des Gewichts sowie der Geräuschemissionen von Belang. Weitere Ziele sind die Erhöhung der Leistungsdichte, Optimierung von Kühlkonzepten und Verbesserung der Regelbarkeit.

Aktuellen Forschungsbedarf gibt es jedoch nicht nur in der Entwicklung von Elektromotoren, sondern insbesondere in deren Produktion. Da Industriemotoren in höheren Leistungsklassen bislang nur in geringen Stückzahlen gefertigt wurden, erfolgt deren Produktion größtenteils manuell. Doch für eine wirtschaftliche und serienflexible Fertigung von elektrischen Traktionsantrieben sind effiziente, hochautomatisierte Fertigungsprozesse unabdingbar. Zur Befähigung der bestehenden Produktionstechnologien des Elektromaschinenbaus für die Automobilindustrie sind daher weitreichende Neuentwicklungen

erforderlich. Die Kosten- und Qualitätsziele der Automobilisten lassen sich nur in einer engen Maßnahmenkombination von Funktions- und Prozessoptimierungen realisieren. ■

Elektromaschinenbau am Lehrstuhl FAPS

Um den neuen Herausforderungen zu begegnen, beschäftigen sich Forscher der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) u.a. mit der serienflexiblen Automatisierung der Elektromotorenproduktion. Im Forschungsbereich Elektromaschinenbau des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) werden

innovative Produktionstechnologien mit dem Ziel erforscht, die gewonnenen Erkenntnisse nutzbringend in die industrielle Praxis zu übertragen (Abb. 1). Die Arbeitsschwerpunkte liegen neben der fertigungsnahen Auslegung vor allem in der Produktionsprozessgestaltung von Komponenten und Systemen der elektrischen Antriebstechnik, insb. für die Elektromobilität und das hybridelektrische Fliegen. Darüber hinaus werden Prozesse zur Fertigung von induktiven Ladesystemen erforscht. Elektromotoren und induktive Ladesysteme stellen zwar einen wichtigen Bestandteil zukünftiger Mobilitätsformen dar, müssen jedoch stets im Zusammenwirken mit weiteren



Abb. 1: Blick auf die Demonstrationsanlagen zu verschiedenen Wickeltechnologien im Labor des Forschungsbereichs Elektromaschinenbau des Lehrstuhls FAPS ■

zentralen Komponenten wie Energiespeicher, Bordnetz oder Leistungselektronik betrachtet werden. Die Forschungsaktivitäten rund um den Elektromaschinenbau werden daher um die komplementären Arbeitsgebiete der angrenzenden Forschungsbereiche Elektronikproduktion, Bordnetze und Effiziente Systeme ergänzt. Insgesamt beschäftigt der Lehrstuhl FAPS rund 100 Mitarbeiter, aufgeteilt auf seine zwei Standorte in Erlangen und Nürnberg. ■

Forschungslabor mit umfangreichem Anlagenpark

Aufgrund des hohen Anwendungsbezugs der Forschung des Lehrstuhls FAPS wurden im Rahmen vergangener Projekte zahlreiche Demonstrationsanlagen aufgebaut und in praktischen Versuchsreihen optimiert. Den Platz hierfür bieten die Labor- und Büroräume des ehemaligen AEG-Geländes, auf dem sich der Forschungsbereich Elektromaschinenbau seit Mitte 2011 befindet. Die großflächige Versuchshalle deckt die verschiedenen Technologiebereiche der Elektromotorenfertigung umfassend ab (Abb. 2). Der umfangreiche Anlagenpark wird dabei nicht nur für die Bearbeitung von Forschungs- und Industriepro-

jekten, sondern auch für die praktische Ausbildung von Studierenden der FAU genutzt. ■

Forschungsprojekte entlang der gesamten Prozesskette

Die zahlreichen vergangenen und aktuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekte verteilen sich entlang der gesamten Prozesskette der Elektromotorenproduktion. Die nachfolgenden Ausführungen stellen daher nur einen kleinen Auszug der Forschungsaktivitäten des Forschungsbereichs Elektromaschinenbau dar.

Als ergänzende Alternative in der Verarbeitung von Elektroband wird der kontinuierliche Prozess des Rotationsschneidens untersucht (Abb. 3). Zur schnellen Prototypenfertigung wird hingegen das flexible Laserschneidverfahren eingesetzt. Um den Wirkungsgrad des Motors zu erhöhen, wird weiterhin eine Minimierung der Ummagnetisierungsverluste des Blechpakets angestrebt. Hierzu werden in einem aktuellen Projekt die eingesetzten Materialien verbessert und die jeweiligen Paketierverfahren optimiert.

Um produktspezifische Werkzeugkosten zu minimieren, werden unter anderem verschiedene roboterbasierte Wickel- und Einziehtechni-

ken erprobt. Roboterbasierte Verlegeverfahren für Hochfrequenzlizen ermöglichen außerdem die Fertigung komplexer Spulengeometrien für induktive Ladesysteme. Daneben wird eine innovative Universalwickelmaschine weiterentwickelt, mittels derer verschiedene Wickelschemata mit variierenden Drahtgeometrien hergestellt werden können (Abb. 4). Zur schnellen und flexiblen Offline-Programmierung wurde die Anlage um eine CAD/CAM-Kette erweitert.

In den nächsten Generationen elektrischer Traktionsantriebe werden verstärkt halboffene Formspulen, sogenannte Hairpins, eingesetzt. Diese sind leichter automatisiert zu handhaben, bringen jedoch eine Vielzahl an Kontaktstellen mit sich. Eine zentrale Herausforderung der Hairpin-Technologie ist daher die Kontaktierung. Einen vielversprechenden Ansatz bildet hier das Laserschweißen, welches im Forschungsbereich Elektromaschinenbau ganzheitlich erforscht und weiterentwickelt wird (Abb. 5). Darüber hinaus werden im Rahmen weiterer Projekte das Heißcrimpen sowie das innovative Ultraschallschweißen zum Kontaktieren von Kupferlackdrähten untersucht. Im gleichen Kontext werden auch

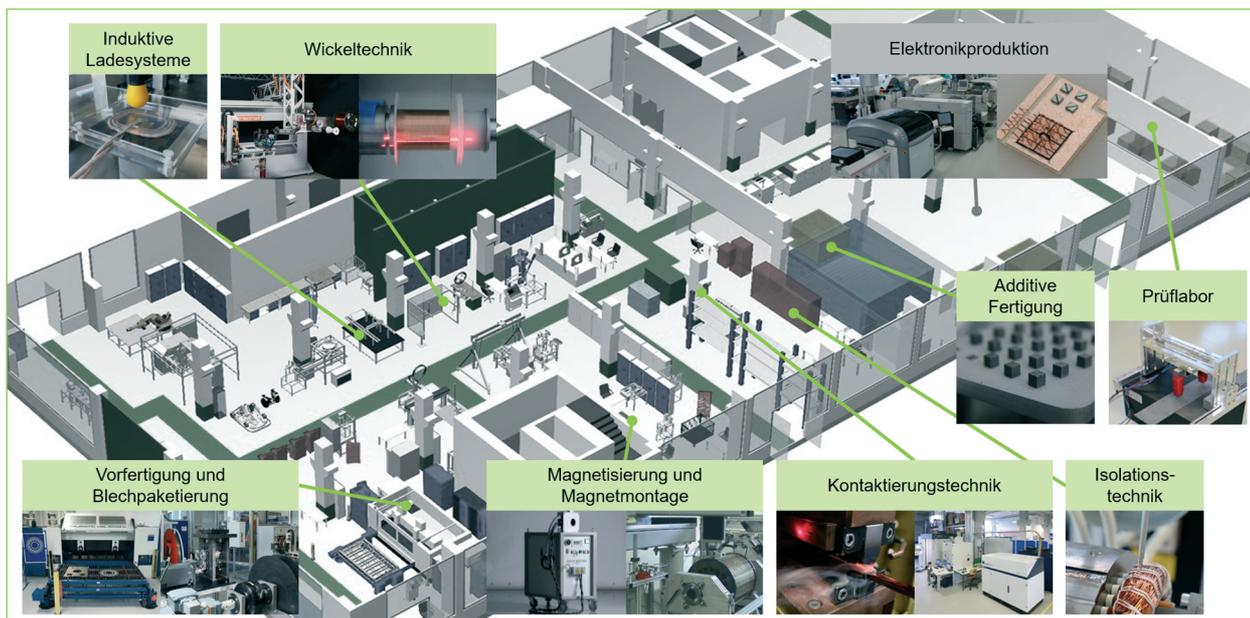


Abb. 2: Überblick über das Forschungslabor des Lehrstuhls FAPS am Standort Nürnberg mit zahlreichen Demonstrationsanlagen zur innovativen Technologien rund um den Elektromaschinenbau ■



Abb. 3: Prototypische Anlage zum Rotationsschneiden von Elektroband als ergänzende Alternative zum konventionellen Stanzen ■

diverse Verfahren zur taktzeitoptimierten Entfernung der Lackisolation von Kupferflächleitern qualifiziert. Zusätzlich werden neue Konzepte zur Montage und zum Twisten von Hairpins entwickelt. Weitere Optimierungspotenziale liegen in der Herstellung der Isolation von Elektromotoren. Gegenüber herkömmlichen Einlegeteilen kann die Pulverbeschichtung den Kupferfüllfaktor von Rotoren und Statoren entscheidend verbessern. Überdies wird das induktive Aushärten von Isolationsharzen als ressourceneffiziente Alternative zu Ofenprozessen eruiert. Hierzu wurden unter anderem Ansätze zur effektiven Regelung und Überwachung der Temperatur erarbeitet.

Einen weiteren Schwerpunkt des Forschungsbereichs Elektromaschinenbau stellt die Handhabung und Montage bereits magnetisierter Permanentmagnete dar. Neben Zuführeinrichtungen werden präzise Positioniersysteme und Klebprozesse untersucht. Darüber hinaus wurden Inline-Messsysteme zur Rotorprüfung entwickelt und ein Magnet-Intralogistiksystem zur selektiven Magnetmontage prototypisch aufgebaut.

Daneben werden automatisierte Prozessketten für das Fertigen und Wuchten von Rotor-Welle-Verbindungen entwickelt. Dabei wurde ein neuartiges Konzept zur Kombinati-

on des Paketierens und der Magnetmontage erarbeitet.

Aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Qualität von Traktionsantrieben bedarf es der Entwicklung leistungsfähiger Inline-Prüfverfahren. Folglich werden neue Prüftechniken zur Erweiterung des Produktverständnisses und Fehlerdetektion angewandt und weiterentwickelt. So verfügt das Magnetfeldmesslabor des Forschungsbereichs Elektromaschinenbau über verschiedene Magnetfeldsonden und Messsysteme zur Charakterisierung von permanentmagnetischen Materialien, Elektroblechen oder sonstigen ferromagnetischen Erzeugnissen.

Verschiedene Hochspannungsprüfgeräte erlauben zudem die normgerechte Qualifizierung von Primärisolationen und Isolationssystemen. Darüber hinaus ermöglichen speziell entwickelte Verfahren die Erfassung von Isolationsschwächungen durch Fertigungsprozesse.

Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und des hohen Wertes vieler, im Elektromotor verbauter Materialien (insb. seltene Erden, Bunt- und Schwermetalle), wurden zudem Verfahren zum Recycling sowie Prozesse zur Minimierung des Materialverbrauches entwickelt.

Auch die Trendthemen additive Fertigung und Industrie 4.0 werden bei der Produktion elektrischer Antriebe zunehmend adressiert. Zur additiven Herstellung von Permanentmagneten wird beispielsweise die Verarbeitung von Selten-Erd-Magnetmaterial durch das Laserstrahlschmelzen im Pulverbett erforscht. Weiterhin werden rechnergestützte Methoden der digitalen Fabrik zur Simulation von Produktionssystemen und virtuellen Prozessabsicherung verwendet. Im Kontext von Industrie 4.0 bieten vor allem datengetriebene Ansätze, die sich der Methoden des Maschinellen Lernens bedienen, großes Potenzial. Beim Ultraschallschweißen konnte beispielsweise die Verbindungsqua-



Abb. 4: Innovative Universalwickelmaschine zur flexiblen Herstellung verschiedener Wickelschemata mit variierenden Drahtgeometrien ■

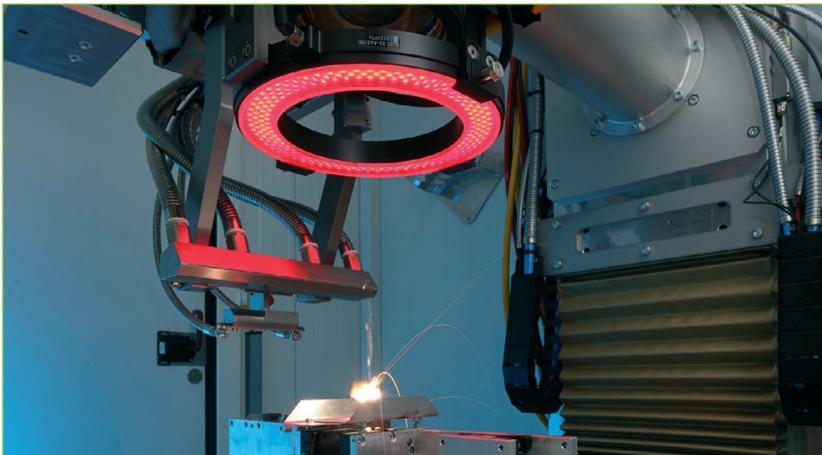


Abb. 5: Versuchszelle zum Laserschweißen für die Erforschung laserbasierter Prozesse zum Fügen von Kupferwerkstoffen ■

lität in Form des elektrischen Übergangswiderstands allein auf Basis von Schallemissionen und Bildern des Abbrands vorhergesagt werden. Weitere Anwendungsfälle für maschinelle Lernverfahren werden aktuell in engem Austausch mit der Industrie untersucht. ■

Kooperationsformen und Technologietransfer

Mit der Erforschung innovativer Produktionstechnologien für die Antriebe von morgen fügt sich der Forschungsbereich Elektromaschinenbau hervorragend in die Cluster-Initiativen für Mechatronik und Automation, Automotive und Umwelttechnologie ein. Seit Gründung des Forschungsbereiches Elektromaschinenbau im Mai 2010 konnten bereits eine Vielzahl an Forschungs- und Industrieprojekten abgeschlossen werden. Im Zuge des vom Freistaat geförderten E|Drive-Centers, dem Bayerischen Technologiezent-

rum für elektrische Antriebstechnik, wurde die Kooperation mit Partnern aus Industrie und Wissenschaft nachhaltig gestärkt und der Lehrstuhl FAPS als anerkannte Lehr- und Forschungseinrichtung im Bereich Elektromaschinenbau etabliert.

Neben mehreren Erfindungsmeldungen wurden auch zahlreiche Fachseminare, Vortragsreihen und Konferenzen veranstaltet. Im Rahmen des WGP-Seminars „Produktion elektrischer Antriebe“ laden die Wissenschaftler des Forschungsbereichs Elektromaschinenbau einmal jährlich zu einem intensiven Wissenstransfer mit Vorträgen, Fachdiskussionen sowie Vorführungen im Forschungslabor ein. Das Seminarprogramm bietet darüber hinaus auch die Gelegenheit zur Diskussion individueller Problemstellungen innerhalb der Elektromotorenproduktion.

Mit der E|DPC, der „International Electric Drives Production Conference“, organisiert der Forschungsbereich außerdem einen international einmaligen wissenschaftlichen Fachkongress (Abb. 6). Die diesjährige E|DPC in Esslingen bietet vom 3. bis 4. Dezember 2019 bereits zum neunten Mal in Folge eine einzigartige Plattform zum intensiven Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Praxis zur Produktion elektrischer Antriebe. ■

FAPS Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke



Autoren:



Andreas Mayr,
M.Sc., M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



Dipl.-Ing.
Michael Masuch
Wissenschaftlicher Mitarbeiter



Dr.-Ing.
Alexander Kühl
Forschungsbereichsleiter

Forschungsbereich Elektromaschinenbau des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Fürther Str. 246b
D-90429 Nürnberg
Tel.: +49.911.5302.9066
Fax: +49.911.5302.9070
E-Mail: alexander.kuehl@faps.fau.de
www.faps.fau.de



Abb. 6: Jährlich stattfindende internationale Konferenz mitsamt angehängter Messe zur Produktion elektrischer Antriebe ■