Leibniz Universität Hannover | Hochschule Aalen | TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

EMK26 (ehemals / formerly FEMAG Anwendertreffen)

Gut Wöllried 13, 97228 Rottendorf (ca. 10 km von Würzburg Mitte)

02.12.2026: E-Maschinen Kolloquium – Tag 1 / Day 1

10:00 – 10:30 Anmeldung / Registration

10:30 – 10:35 **Jörn Steinbrink:** Begrüßung / Welcome

10:35 – 11:00 **Jörn Steinbrink, Leibniz Universität Hannover - IAL; Ronald Tanner, Semafor Informatik und Energie AG**
01 Konferenzbeiträge EMK 2007 bis 2025 - Überblick und Einordnung / Conference Proceedings EMK from 2007 to 2025 - Overview and classification

11:00 – 11:30 **Volker Grabs, Lenze SE**
02 Synchron-Reluktanzmotor mit Zahnspulenwicklung und segmentiertem Rotor / Synchronous reluctance motor with tooth-coil winding and a segmented rotor

11:30 – 12:00 **Sebastian Strüver, Siemens Energy Global GmbH & Co. KG**
03 Vergleich analytischer und numerischer Berechnungsmethoden für große Torquemotoren / Comparison of analytical and numerical calculation methods for large torque motors

12:00 – 13:15 gemeinsamer Mittagsimbiss mit Ausstellungsteil

13:15 – 13:45 **Fiona Cena; Eike Krüger, Leibniz Universität Hannover - IAL; Ronald Tanner, Semafor Informatik und Energie AG**
04 Berechnung von Induktionsmaschinen – Vergleich von analytischer, semianalytischer und transienter Methodik / Prediction methods for induction motors – a comparison of analytic, semi-analytic and transient methods

13:45 – 14:15 **Giuseppe Pasquarella, LCD Lasercut AG**
05 Design und effiziente Fertigung von Radial- und Axialflussmaschinen / Design and efficient manufacture of radial- and axial-flux motors

14:15 – 14:45 **Daniel Heide, Siemens Mobility GmbH & Co. KG**
06 Simulationsgestützte Dimensionierung von Eisenbahn-Traktionsmotoren für einen hohen Wirkungsgrad und eine nachhaltige Mobilität / Simulation-driven design of railway traction motors for efficient and sustainable mobility

14:45 – 15:30 Kaffeepause mit Ausstellungsteil

15:30 – 16:00 **Jens Krotsch, HS Aalen; Ramona Ullenbruch, ebm-papst GmbH & Co. KG**
07 Experimentelle Charakterisierung der Strukturschwingungen von PMSM mit ringförmigen Mikrofonarrays – Theorie + Anwendung / Experim. characterisation of structural vibrations of electric machines using a ring-shaped microphone array – theory + application

16:00 – 16:30 **Pauline Höltje, NODA Drives**
08 Universeller Lagerstromschutz für umrichtergespeiste elektrische Maschinen / Universal bearing current protection

16:30 – 17:00 **Falk Laube, M.L. DriveSolutions GmbH**
09 Wicklungen mit unterschiedlicher Windungszahl je Lage – Anwendungen & Auswirkungen / Windings with different numbers of turns per layer – applications & implications

17:00 – 17:30 **Johannes Germishuizen, Techn. Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm**
10 Lehrerfahrung in der Vermittlung von FE-Berechnungen / Experience in the teaching of FE calculations

ab 19:15 Konferenzdinner im Gut Wöllried

Leitung und Koordination
Institut für Antriebssysteme und Leistungselektronik

mit freundlicher Unterstützung
GAMMA TECHNOLOGIES | LCD LaserCut AG

EMK26 03.12.2026 Tag 2 / Day 2

09:00 – 09:30 **Cara Behrendt, Leibniz Universität Hannover - IAL**
11 Hochfrequenzeffekte in elektrischen Antriebssystemen – von der Simulation zur Handlungsempfehlung / High-frequency effects in electric drive systems – from simulation to practical recommendations

09:30 – 10:00 **Marius Meiswinkel, Universität Bremen - IALB**
12 Zustands- & Fehlererkennung in elektrischen Maschinen mittels multiphysikal. Sensorik / Condition & fault detection in electric machines using multiphysical sensor technology

10:00 – 10:30 Kaffeepause mit Ausstellungsteil

10:30 – 11:00 **Daniel Eggers, thyssenkrupp Steel Europe AG**
13 NO-Elektroband und Paketiertechnologien: Werkstoffeigenschaften, Verarbeitungseinflüsse und anwendungsorientierte Untersuchungen / NGO Electrical Steel and stacking technologies: material properties, processing effects and application studies

11:00 – 11:30 **Eva Bresemann, Leibniz Universität Hannover - IAL;**
Dirk Emmrich, Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG
14 Neuartige magnetische Nutverschlusskeile zur Anwendung in elektrischen Maschinen / Novel type of semimagnetic slot wedges for electric machines

11:30 – 12:00 **Tobias Heidrich; Andreas Möckel, Technische Universität Ilmenau**
15 Luftkühlung bei elektrischen Maschinen - Theoretische Einflüsse & empirische Analyse / Air cooling in electric machines - theoretical factors & empirical analysis

12:00 – 13:00 gemeinsamer Mittagsimbiss mit Ausstellungsteil

13:00 – 13:30 **Felix Brenner, Gamma Technologies**
16 Von der elektromagnetischen Anregung zu NVH: Elektrische Maschinen in der frühen Entwurfsphase / From electromagnetic excitation to NVH: Early-Stage design of electric machines

13:30 – 14:50 **Versorgung mit Neodym-Magneten – Situation deutscher Elektromaschinen-Hersteller 2026: Alptraum – Hoffnung – Vision**
17a **Volker Quast**
Aktuelle Situation deutscher Elektromaschinen-Hersteller / The current situation regarding German manufacturers of electric machines
17b **Carlo Burkhardt, Hochschule Pforzheim - STI**
Recycling von Neodym-Magneten – Stand der Technik, Möglichkeiten, Magneteigenschaften / Recycling of neodymium magnets – state of the art, possibilities, magnetic properties
17c **Nelson Brito, HYPROMAG GmbH**
Industrielles Recycling von Neodym-Magneten / Industrial recycling of neodymium magnets
17d **Steffen Krieg, Fischer Elektromotoren GmbH**
Aufbereitung und Recycling von elektrischen Maschinen / Refurbishment and recycling of electric machines

14:50 – 15:00 **Jörn Steinbrink, Leibniz Universität Hannover - IAL**
Vorausschau und Schlusswort / Outlook and Conclusion

Jörn Steinbrink, Leibniz Universität Hannover – IAL;
Ronald Tanner, Semafor Informatik und Energie AG

01 Konferenzbeiträge EMK 2007 bis 2025 - Überblick und Einordnung / Conference Proceedings EMK from 2007 to 2025 - Overview and classification

In der Veranstaltungsreihe, die gebündelt unter dem Namen E-Maschinen-Kolloquium geführt wird, wurden seit 2007 elektromagnetischen Fragestellungen aus Industrie und Wissenschaft mit dem Fokus auf elektrischen Maschinen behandelt. Die Reihe ist aus der Anwendung des numerischen Berechnungsprogramms FEMAG aus den zugehörigen Anwendertreffen hervorgegangen und hat sich bereits seit Beginn auf Berechnungsmethoden und Lösungen zu verschiedenen Fragen aus der Praxis gewidmet. Es sind so bereits über 300 Vorträge zu analytischen und numerischen Berechnungsmethoden für alle Aspekte der elektromagnetischen, mechanischen und thermischen Dimensionierung inklusive der zugehörigen Informationen zu den eingesetzten Materialien und Bauteilen, der Vorausberechnung des Betriebsverhaltens, der Analyse von Maschinendesigns und der Wechselwirkungen von E-Maschinen mit dem Netz bzw. dem Umrichter, potentiellen Schadensmechanismen und Abhilfemaßnahmen, der Fertigung von Antrieben und deren industriellen Anwendungen zusammengekommen. Der Beitrag soll als roter Faden dazu beitragen, den Wissensschatz besser verfügbar und breiter bekannt zu machen.

Lassen Sie sich von der Vielfalt der Beiträge und deren zeitlosem Inhalt inspirieren.

E-Maschinen-Kolloquium – EMK07
(ehemals „FEMAG-Anwendertreffen“)

Kolloquium zu elektrischen Maschinen mit Fokus auf elektromagnetischen Fragestellungen aus Industrie und Wissenschaft

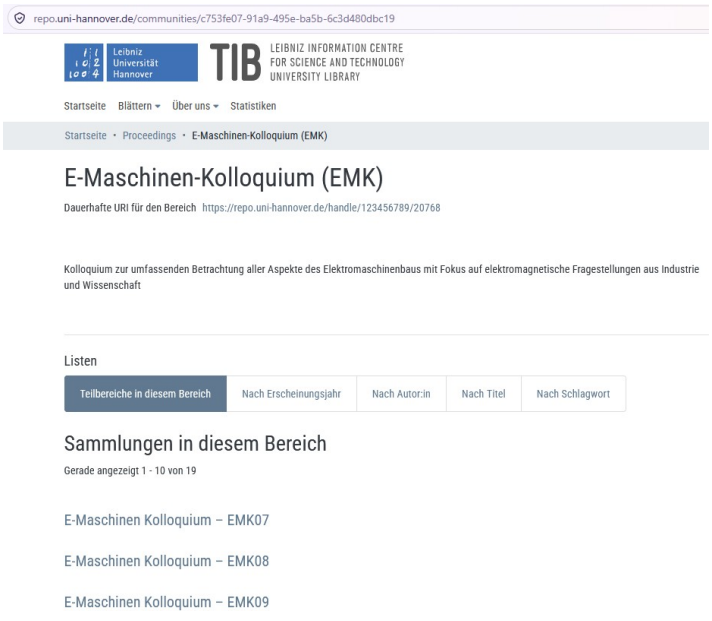
Colloquium on Electric Machines with a focus on electromagnetic issues in industry and science

https://doi.org/10.15488/22001

Tagungsband / Proceedings
Ausgabe / Volume 2007

Since 2007, this series of events, collectively known as the E-Machines Colloquium, has addressed electromagnetic issues from industry and academia with a focus on electric machines. The series emerged from the use of the numerical calculation program FEMAG and the associated user meetings, and from the very beginning has been dedicated to calculation methods and solutions for various practical problems. To date, over 300 presentations have been given on analytical and numerical calculation methods for all aspects of electromagnetic, mechanical, and thermal sizing—including related information on the materials and components used, the prediction of operational behaviour, the analysis of machine designs and the interactions between electric machines and the power grid or the inverter, potential failure mechanisms and corrective measures, and the manufacturing of drives and their industrial applications. This article aims to help make this wealth of knowledge more accessible, raise broader awareness of it, and provide a common thread.

Let yourself be inspired by the diversity of the articles and their timeless content.



Volker Grabs, Lenze SE

02 Synchron-Reluktanzmotor mit Zahnspulenwicklung und segmentiertem Rotor / Synchronous reluctance motor with tooth- coil winding and segmented rotor

Der vorliegende Ansatz untersucht einen permanentmagnetfreien Synchron-Reluktanzmotor mit Zahnspulwicklung und segmentiertem Rotor als ressourcenschonende Alternative zu Asynchronmotoren und permanentmagneterregten Synchronmotoren. Ziel ist eine Motortopologie, die hohe Wirkungsgrade, gute Recyclingfähigkeit und eine einfache industrielle Fertigung miteinander verbindet. Durch den Verzicht auf Seltene-Erden-Magnete werden kritische Rohstoffe vermieden, während der aktive Aufbau im Wesentlichen auf Elektroblech und Kupfer bzw. optional Aluminiumleitern in der Wicklung reduziert werden kann.

Ein zentrales Merkmal des betrachteten Motors ist die Verwendung einer Zahnspulwicklung anstelle einer verteilten Wicklung. Diese Wicklungsart ermöglicht kurze Wickelköpfe, eine kompakte Bauweise und eine potenziell einfachere automatisierte Fertigung. Gleichzeitig ergeben sich Herausforderungen durch höhere Raumharmonische, Drehmomentwelligkeit, Geräuschanregung und zusätzliche Eisenverluste, die insbesondere bei hochpoligen Ausführungen sorgfältig bewertet werden müssen. Der Rotor wird nicht klassisch über mehrlagige Flusssperren ausgeführt, sondern aus einzelnen Polsegmenten zusammengesetzt. Diese Segmentierung soll eine hohe magnetische Anisotropie erzeugen und gleichzeitig eine einfachere Herstellung ermöglichen.

Im Vergleich zum Asynchronmotor bietet die vorgestellte Technologie den Vorteil eines verlustarmen Rotors, einer besseren Materialtrennung und einer potenziell höheren Effizienz. Gegenüber dem PM-Synchronmotor entfallen Magnetkosten, Entmagnetisierungsrisiken, Rohstoffabhängigkeiten und aufwendige Recyclingprozesse, jedoch bei tendenziell geringerer Leistungsdichte und höherem Blindleistungsbedarf. Die Kombination aus Zahnspulwicklung und segmentiertem Rotor ist ein vielversprechender Ansatz für nachhaltige, fertigungsgerechte und recyclingfreundliche elektrische Antriebe, insbesondere für Anwendungen, bei denen robuste Herstellung, Materialverfügbarkeit und Lebenszykluskosten stärker gewichtet werden als maximale Leistungsdichte.

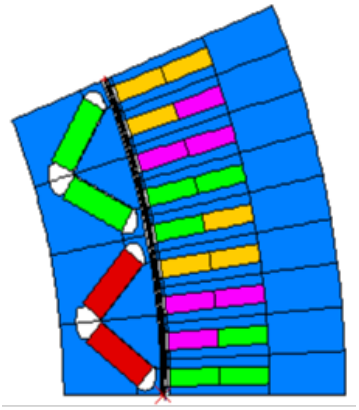
This study examines a permanent-magnet-free synchronous reluctance motor with a tooth-coil winding and a segmented rotor as a resource-efficient alternative to induction motors and permanent-magnet-excited synchronous motors. The goal is a motor topology that combines high efficiency, good recyclability, and simple industrial manufacturing. By eliminating the use of rare-earth magnets, critical raw materials are avoided, while the active components can be reduced essentially to electrical steel and copper or, optionally, aluminium conductors in the winding.

A key feature of the motor is the use of a tooth-coil winding instead of a distributed winding. This type of winding enables short winding heads, a compact design, and potentially simpler automated manufacturing. At the same time, challenges arise from higher spatial harmonics, torque ripple, noise excitation, and additional iron losses, which must be carefully evaluated, particularly in high-pole designs. The rotor is not designed in the conventional manner using multi-layer flux barriers, but is instead assembled from individual pole segments. This segmentation is intended to generate high magnetic anisotropy while also enabling simpler manufacturing.

Compared to an induction motor, the presented technology offers the advantages of a low-loss rotor, better material separation, and potentially higher efficiency. Compared to a PM synchronous motor, it eliminates magnet costs, demagnetization risks, raw material dependencies, and complex recycling processes, though it tends to have lower power density and higher reactive power requirements. The combination of a tooth-coil winding and a segmented rotor thus represents a promising approach for sustainable, manufacturable, and recycling-friendly electric drives, particularly for applications where robust manufacturing, material availability, and life-cycle costs are weighted more heavily than maximum power density.

Sebastian Strüver, Siemens Energy Global GmbH & Co. KG

03 Vergleich analytischer und numerischer Berechnungsmethoden für große Torquemotoren / Comparison of analytical and numerical calculation methods for large torque motors

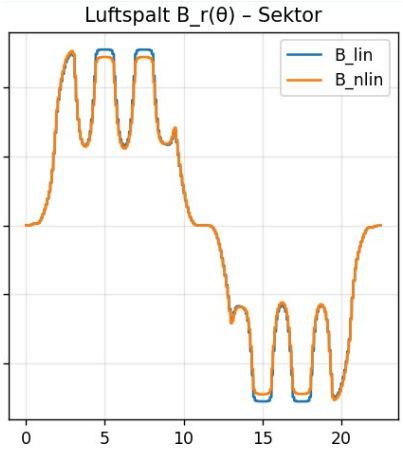


Die zuverlässige Vorausberechnung parasitärer Effekte stellt bei großen permanentmagneterregten Synchron-Torquemotoren aufgrund ausgeprägter Nutungs- und Geometrieeinflüsse eine besondere Herausforderung dar. Eine vollständige numerische Berechnung mittels Finite-Elemente-Methode (FEM) ermöglicht eine detaillierte Abbildung dieser Effekte, ist jedoch insbesondere bei umfangreichen Parameterstudien und Optimierungsaufgaben mit entsprechendem Rechenaufwand verbunden.

Langfristiges Ziel ist daher die Ableitung eines teilanalytischen Ansatzes zur Berechnung des Rastmoments. Ein wesentlicher Baustein hierfür ist die Beschreibung der durch die Statornutung hervorgerufenen Leitwertwellen. Hierzu werden numerisch aus FE-Berechnungen ermittelte Leitwertverteilungen mit einer analytischen Berechnung nach Kolbe verglichen und hinsichtlich ihrer Übereinstimmung bewertet.

Im Mittelpunkt des Beitrags stehen die Anwendbarkeit und die Grenzen des analytischen Ansatzes für große Torquemotoren. Dabei wird insbesondere untersucht, inwieweit die nach Kolbe formulierten Gültigkeitskriterien auf die betrachteten Maschinengeometrien übertragbar sind und wie sich analytisch und numerisch bestimmte Leitwertwellen unterscheiden.

Anhand ausgewählter Maschinenkonfigurationen werden die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden gegenübergestellt sowie Übereinstimmungen, Abweichungen und Grenzen diskutiert. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine Grundlage für die zukünftige Ableitung eines teilanalytischen Verfahrens zur Rastmomentberechnung.



The analytical description of electromagnetic effects in large permanent-magnet synchronous torque motors is particularly challenging due to pronounced slotting and geometrical influences. Numerical calculations using the finite element method (FEM) allow these effects to be represented in detail, but involve considerable computational effort, particularly for extensive parameter studies and optimization tasks.

The contribution focuses on determining the permeance waves caused by stator slotting. For this purpose, permeance distributions obtained from finite-element calculations are compared with an analytical calculation according to Kolbe. Particular attention is paid to the validity criteria of the analytical approach and to the question of its applicability to large torque motors with geometries partly outside the specified limits.

Using selected machine configurations, analytical and numerical results are compared and their agreement, deviations and limitations are discussed. In the long term, the findings are intended to provide a basis for semi-analytical methods for predicting parasitic effects such as cogging torque.

Fiona Cena; Eike Krüger, Leibniz Universität Hannover - IAL;
Ronald Tanner, Semafor Informatik und Energie AG

04 Berechnung von Induktionsmaschinen – Vergleich von analytischer, semianalytischer und transienter Methodik / Prediction methods for induction motors – a comparison of analytic, semi-analytic and transient methods

Die Berechnung von Induktionsmaschinen erfolgt klassischerweise entweder vollständig analytisch auf Basis einer Magnetkreisrechnung oder auf numerische Weise mit der transienten Finiten-Elemente-Methode (FEM). Eine weitere Möglichkeit besteht in einem semianalytischen Ansatz, der sich ausschließlich magnetostatischer FEM bedient und daher wesentliche Vorteile gegenüber der Lösung mit Hilfe der transienten FEM hinsichtlich der Berechnungsdauer hat.

Seit den 1980er-Jahren steht am IAL mit ASYN ein Programm zur Nachrechnung des Betriebsverhaltens von Induktionsmaschinen mit symmetrischer Mehrphasenwicklung zur Verfügung, das seither kontinuierlich weiterentwickelt wurde. Im Vortrag wird die zugrunde liegende Berechnungsmethodik näher beleuchtet, insbesondere die analytische Bestimmung des magnetischen Kreises der Maschine. Darauf aufbauend wird das in den letzten Jahren am IAL entwickelte Programm IMFEM vorgestellt. IMFEM berechnet die Ersatzschaltbildparameter sowie das stationäre Betriebsverhalten von Induktionsmaschinen mit Schleifring- oder Käfigläufer über einen hybriden analytisch-numerischen Ansatz, bei dem FEM-Berechnungen zur Bestimmung der Ersatzschaltbildparameter herangezogen werden. IMFEM verwendet dieselbe Terminologie und dieselben Eingabegrößen wie ASYN, sodass ein Umstieg zwischen beiden Programmen ohne Einarbeitungsaufwand möglich ist.

In diesem Vortrag sollen die drei genannten Berechnungsmethoden anhand von verschiedenen Induktionsmaschinen hinsichtlich Berechnungsergebnissen und Berechnungsdauern gegenübergestellt werden, um einen Überblick über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden zu geben.

Induction motors are traditionally calculated either entirely analytically, based on magnetic circuit analysis, or numerically using the transient finite element method (FEM). Another option is a semi-analytical approach that uses only magnetostatic FEM and therefore offers significant advantages over the transient FEM solution in terms of computation time.

Since the 1980s, the IAL has had ASYN, a program for verifying the operational behaviour of induction motors with symmetrical multiphase windings, which has been continuously refined ever since. This presentation will examine the underlying calculation methodology in greater detail, particularly the analytical determination of the motor's magnetic circuit. Building on this, the IMFEM program, developed at the IAL in recent years, will be presented. IMFEM calculates the equivalent circuit parameters as well as the steady-state operating behaviour of induction motors with slip-ring or squirrel-cage rotors using a hybrid analytical-numerical approach, in which FEM calculations are used to determine the equivalent circuit parameters. IMFEM uses the same terminology and input variables as ASYN, allowing users to switch between the two programs without the need for additional training.

In this presentation, the three calculation methods mentioned above will be compared using various induction motors in terms of calculation results and computation times, in order to provide an overview of the advantages and disadvantages of each method.

Giuseppe Pasquarella; Hannes Weiss, LCD Lasercut AG

05 Design und effiziente Fertigung von Radial- und Axialflussmaschinen / Design and efficient manufacture of radial- and axial-flux motors

Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit elektrischer Maschinen entscheiden sich heute längst nicht mehr nur im elektromagnetischen Design. Einen wesentlichen Einfluss haben Werkstoffauswahl, innovative Werkstoffkombinationen und eingesetzte Fertigungstechnologien. Dies gilt für Prototypen, Kleinserien und Industrialisierung. Das Potenzial segmentierter Stator- und Rotorpakete wird besprochen. Ein Beitrag zu technologischen Herausforderungen und innovativen Fertigungslösungen für Axialflussmaschinen rundet den Vortrag ab.

The performance and cost-effectiveness of electric machines are no longer determined solely by their electromagnetic design. The choice of materials, innovative material combinations and the manufacturing technologies employed all have a significant influence. This applies to prototypes, small-batch production and industrialisation. The potential of segmented stator and rotor stacks will be discussed. A contribution on technological challenges and innovative manufacturing solutions for axial-flux machines rounds off the presentation.



Daniel Heide, Siemens Mobility GmbH & Co. KG

06 Simulationsgestützte Dimensionierung von Eisenbahn-Traktionsmotoren für einen hohen Wirkungsgrad und eine nachhaltige Mobilität / Simulation-driven design of railway traction motors for efficient and sustainable mobility

Traktionsmotoren für Schienenfahrzeuge unterliegen anspruchsvollen Randbedingungen: hohe Drehmoment- und Leistungsdichten, ein hoher Wirkungsgrad in kundenspezifischen Fahrspielen, begrenzte Bauräume, geringe Geräuschemissionen, ein robuster Betrieb am Pulswechselrichter und lange Lebensdauern. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Energieeffizienz, akustischen Komfort, Materialeinsatz und Kosten.

Der Beitrag gibt einen Überblick über den simulationsgetriebenen Entwicklungsansatz für moderne Traktionsmotoren bei Siemens Mobility. Ausgehend von Fahrzeug- und Antriebsanforderungen werden analytische und numerische elektromagnetische Methoden, mechanische und thermische Methode für die Identifikation von Parametern, Kennfeldern und die Fahrspielbewertung kombiniert. Besondere Aufmerksamkeit erhalten multiphysikalischen Methoden für die NVH-Bewertung. Der Beitrag zeigt, wie integrierte Simulationsworkflows effiziente, leise und robuste Traktionsmotoren für die Bahn der Zukunft unterstützen.

Railway traction motors operate under demanding boundary conditions: high torque and power density, high efficiency over customer-specific duty cycles, limited installation space, low noise emission, robust operation with inverter supply and long service life. At the same time, future railway applications face increasing pressure regarding energy efficiency, acoustic comfort, material usage and cost.

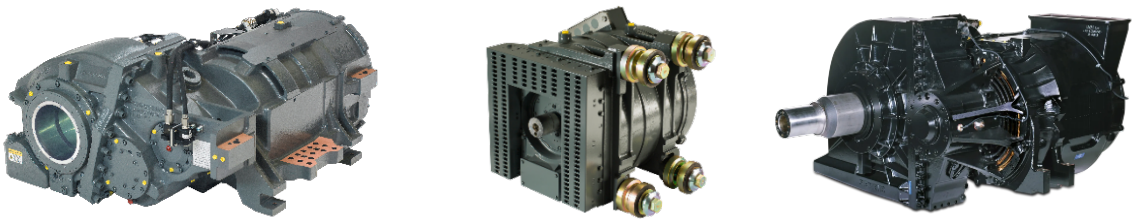


Fig. 1 Siemens Mobility Traction Motors (left to right: Metro, Commuter, Locomotive)

This contribution gives an overview of a simulation-driven development approach for modern railway traction motors at Siemens Mobility. Starting from vehicle and drive requirements, the workflow combines analytical and numerical electromagnetic methods, mechanical and thermal methods for parameter and operating curve identification and load-cycle evaluation. Special attention is given to multi-physics methods for NVH assessment. The contribution shows how integrated simulation workflows support efficient, quiet and robust traction motor designs for future rail mobility.

Jens Krotsch, HS Aalen; Ramona Ullenbruch, ebm-papst GmbH & Co. KG

07 Experimentelle Charakterisierung der Strukturschwingungen von PMSM mit ringförmigen Mikrofonarrays – Theorie + Anwendung / Experimental characterisation of structural vibrations of electric machines using a ring-shaped microphone array – theory + application

Das Schwingungs- und Geräuschverhalten elektrischer Antriebe ist von andauernder Relevanz vom Hausgerätebereich bis hin zur Fahrzeugtechnik. Strukturschwingungen des Stators und Rotors elektrischer Maschinen werden durch magnetische Kraftwellen angeregt. Durch Leichtbauanforderungen und konkurrierende Auslegungsziele ist eine ideale elektromagnetisch-mechanische Abstimmung selten erreichbar. Unvermeidbare Resonanzdurchläufe und die begrenzte Möglichkeit der Dämpfung können bei geringen Kraftwellenamplituden bereits zu großen Schwingungsamplituden und störenden Schalldruckpegeln führen. Es handelt sich um ein mehrkriterielles Optimierungsproblem, das die selektive Reduktion kritischer Kraftwellenkomponenten erfordert.

Die Vorausberechnung mittels elektromagnetischer und mechanischer Finite-Elemente-Methode ist etabliert. Anspruchsvoll bleibt die experimentelle Validierung, insbesondere bei rotierenden Außenläuferstrukturen. Während Strukturschwingungen akustisch gut messbar sind, bleibt die Zuordnung zu den verursachenden Kraftwellenkomponenten und deren Entstehungsmechanismen eine zentrale Herausforderung. Der Rückschluss auf die Ursache erfordert eine aussagekräftige Charakterisierung, die nicht nur die Identifikation drehzahlabhängiger Frequenzen, sondern auch deren räumliche Verteilung umfasst.

Vor dem Hintergrund fokussiert der Beitrag die experimentelle Methodik: Es wird ein ringförmiges Mikrofonarray zur akustischen Nahfeldmessung vorgestellt und das zugehörige Charakterisierungsverfahren für Rotorstrukturschwingungen erläutert. Ergänzend werden das Entstehen von Kraftwellen in permanentmagneterregten elektrischen Maschinen und die numerische Ermittlung der Kraftwellenamplituden mittels GT-FEMAG zusammengefasst. Numerische Vorhersage und experimentelle Validierung werden anhand eines praktischen Optimierungsbeispiels verknüpft.

The vibration and acoustic behaviour of electric drives is of ongoing relevance, ranging from household appliances to automotive applications. Structural vibrations of the stator and rotor of electrical machines are excited by magnetic force waves. Due to lightweight design requirements and competing optimisation objectives, an ideal electromagnetic-mechanical tuning is rarely achievable. Unavoidable resonance run-throughs and the limited damping potential can cause even minor force wave amplitudes to result in large structural vibration amplitudes and disturbing sound pressure levels. This constitutes a multicriteria optimisation problem requiring the selective reduction of critical force wave components.

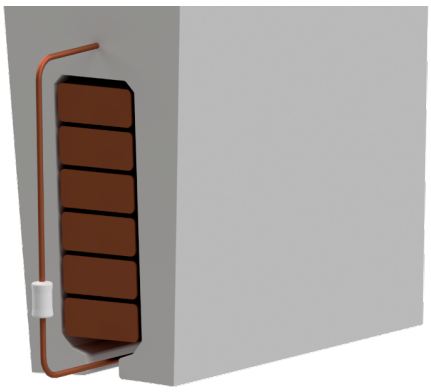
Whilst the predictive calculation by means of electromagnetic and mechanical finite element methods is well established, experimental validation remains challenging, particularly in the case of rotating external-rotor structures. Although structural vibrations are readily measurable as acoustic noise, identifying the responsible force wave components and their origin remains a key challenge. Inferring the underlying cause necessitates a comprehensive characterisation encompassing not only the identification of speed-dependent frequencies but also their spatial distribution.

Against this background, this contribution focuses on the experimental methodology: a ring-shaped microphone array for acoustic near-field measurement is presented, along with the associated characterisation method for rotor structural vibrations. In addition, the emergence of force waves in permanent-magnet-excited electrical machines and the numerical determination of force wave amplitudes by means of GT-FEMAG are summarised. Numerical prediction and experimental validation are combined and demonstrated by means of a practical optimisation example.

Pauline Höltje, NODA Drives

08 Universeller Lagerstromschutz für umrichtergespeiste elektrische Maschinen / Universal bearing current protection

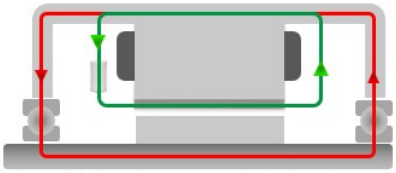
Der Einsatz von Frequenzumrichtern in elektrischen Antriebssystemen kann die Entstehung von Electrical Discharge Machining (EDM)-Strömen und zirkularen Lagerströmen bewirken. Beide Arten von Lagerströmen können die Oberflächenstruktur der Lager schädigen und den Schmierstoff chemisch verändern, wodurch mechanische Folgeschäden entstehen. Da den beiden Lagerstromarten jedoch unterschiedliche Wirkmechanismen zugrunde liegen, schützen die meisten Abhilfemaßnahmen nur gegen eine der beiden Lagerstromarten und können hinsichtlich der jeweils anderen sogar eine verstärkende Wirkung haben.



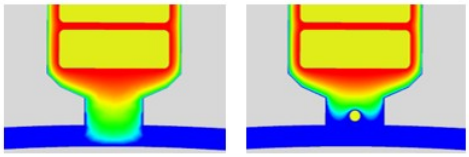
Der neuartige Lagerstromschutz reduziert hingegen EDM-Lagerströme und zirkulare Lagerströme gleichermaßen. Dabei setzt er sich aus zwei Elementen zusammen: Zum einen werden zusätzliche Elektroden in die Nutschlitze der elektrischen Maschine eingefügt. Dies reduziert die kapazitive Kopplung zwischen der Statorwicklung und dem Rotor, wodurch die EDM-Lagerspannung auf ein unschädliches Maß sinkt. Zum anderen werden die eingebrachten Elektroden einseitig niederohmig mit dem Gehäuse und auf der anderen Seite über Kapazitäten mit dem Gehäuse verbunden. Durch die Kapazitäten wird die Elektrodenschleife bei hohen Frequenzen niederimpedant, sodass zirkulare Lagerströme bevorzugt über die Elektroden statt durch die Lager fließen. Die Präsentation beleuchtet die Erarbeitung, Realisierung und Erprobung des neuartigen Lagerstromschutzes an einem Funktionsdemonstrator.

Using frequency converters in electric drive systems can result in electric discharge machining (EDM) currents and circular bearing currents. These currents can damage the surface structure of bearings and chemically deteriorate the lubricant, resulting in subsequent mechanical damage. However, as these two current types are caused by different physical mechanisms, most mitigation measures only protect against one type and can actually amplify the other.

The novel bearing protection reduces both EDM bearing currents and circular bearing currents. It consists of two components: First, additional electrodes are inserted into the slot openings of the electric machine. This reduces the capacitive coupling between the stator winding and the rotor, which lowers the bearing voltage and consequently the EDM bearing currents. Second, the inserted electrodes are connected on one side directly to the housing and on the other side to the housing via capacitors. The capacitors reduce the impedance of the electrode loop at high frequencies, providing a low-impedance alternative path for circular bearing currents that bypasses the bearings. The presentation focuses on the development, implementation, and testing of the novel bearing protection using a demonstrator.



Pfade des zirkularen Lagerstroms mit und ohne den 2-in-1-Lagerstromschutz
Paths of the circular bearing current with and without the 2-in-1 - Bearing Protection



Elektrisches Feld ohne und mit 2-in-1-Lagerstromschutz
Electric Field without and with 2-in-1 Bearing Protection

Falk Laube, M.L. DriveSolutions GmbH

09 Wicklungen mit unterschiedlicher Windungszahl je Lage – Anwendungen & Auswirkungen / Windings with different numbers of turns per layer – applications & implications

Niederspannungsmaschinen (≤690V) großer Leistung (>1MW) und hoher Drehzahl (n ≥ 1000rpm) werden üblicherweise niedrigpolig und mit verteilter Drehstromwicklung („Spaghettiwicklung") als Ganzlochwicklung ausgeführt.

Rechnerisch können sich trotz Maximierung der Anzahl paralleler Spulengruppen (a_{max} = 2p) sehr kleine Spulenwindungszahlen ergeben (wsp≤5). Sind die Spulenwindungszahlen in allen Nuten gleich groß, ist die mittlere resultierende Spulenwindungszahl ganzzahlig (w_{sp} = 1; 2 …). Die übliche Anpassung der Maschinenspannung an die Nennspannung kann dann entsprechend der Windungszahl nur in groben Stufen erfolgen. Das kann dazu führen, dass die Nennspannung bzw. bei Umrichterspeisung die max. zulässige Umrichterspannung nicht voll ausgenutzt wird und die Maschinenströme unzulässig hoch werden.

Der Vortrag behandelt am Beispiel einer PMSM die Möglichkeit der Wicklungsausführung mit unterschiedlicher Windungszahl pro Nut und Nutlage innerhalb der Nuten eines Stranges, wodurch sich gebrochene resultierende Spulenwindungszahlen realisieren lassen (z.B. w_{sp} = 2; 2.33; 2.67; 3 … etc.)

Low-voltage machines (≤690 V) with high power ratings (>1 MW) and high speed (n ≥ 1000 rpm) are usually designed with a low number of pole pairs and distributed three-phase winding ('spaghetti winding') in the form of a full-slot winding.

Even when the number of parallel winding groups is maximized (a_{max} = 2p), theoretical calculations can result in very low number of turns per coil (wsp ≤ 5). If the number of turns per coil is identical in every slot, the resulting average number of turns per coil is an integer (w_{sp} = 1, 2, etc.).

Consequently, adjusting the machine's voltage to match the nominal voltage can only be done in coarse step size based on the integer number of turns. This may prevent full utilization of the nominal voltage - or, in the case of converter-fed systems, the maximum permissible converter voltage - and can lead to unacceptably high currents.

Using a PMSM as an example, this presentation explains an alternative winding design realizing different numbers of turns per slot and winding layer within the slots of one phase. This approach allows a non-integer (fractional) effective number of turns per coil (e.g. w_{sp} = 2.0; 2.33; 2.67; 3; … etc.).

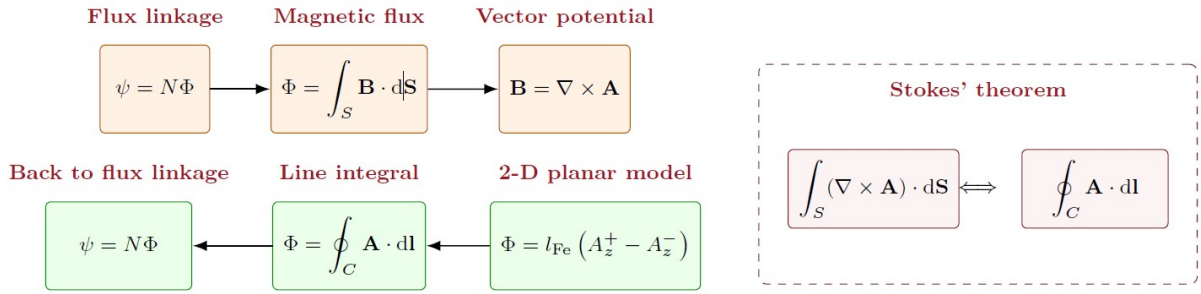
Johannes Germishuizen, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

10 Lehrerfahrung in der Vermittlung von FE-Berechnungen / Experience in the teaching of FE calculations

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) ist ein wichtiges Werkzeug bei der Entwicklung elektrischer Maschinen und elektromagnetischer Komponenten. Erfahrungen aus industriellen Projekten zeigen jedoch, dass Studierende beim Einstieg in FE-basierte Aufgaben häufig wenig Erfahrung mit dem numerischen Verfahren und entsprechender Simulationssoftware besitzen.

An der Ohm wurde daher ein Einführungskurs zur elektromagnetischen FEM entwickelt. Im Mittelpunkt steht nicht die Bedienung einer bestimmten Software, sondern das Verständnis des Weges von den elektromagnetischen Grundgleichungen zur numerischen Lösung. Einfache, von Hand nachvollziehbare Beispiele vermitteln zunächst die Vorgehensweise der FEM, bevor diese auf praxisnahe Modelle übertragen wird. Ein Schwerpunkt liegt auf der Verbindung des magnetischen Vektorpotentials mit dem magnetischen Fluss und bekannten elektrotechnischen Größen.

Der Beitrag berichtet über die Lehrerfahrungen und zeigt, wie Theorie, Simulation, Visualisierung und Experiment zu einem kompakten Einstieg in elektromagnetische FE-Berechnungen verbunden werden können.



The finite element method (FEM) is an important tool in the development of electrical machines and electromagnetic components. Experience from industrial projects, however, shows that students entering FE-based tasks often have little experience with the numerical method and corresponding simulation software.

An introductory course on electromagnetic FEM was therefore developed at Ohm. The emphasis is not on operating a particular software package, but on understanding the path from the governing electromagnetic equations to the numerical solution. Simple examples that can be followed by hand first introduce the FEM procedure before it is applied to practical models. Particular emphasis is placed on relating the magnetic vector potential to magnetic flux and familiar electrical quantities.

The presentation discusses the teaching experience and shows how theory, simulation, visualisation, and experiment can provide a compact introduction to electromagnetic finite element analysis.

Cara Behrendt, Leibniz Universität Hannover - IAL

11 Hochfrequenzeffekte in elektrischen Antriebssystemen – von der Simulation zur Handlungsempfehlung / High-frequency effects in electric drive systems – from simulation to practical recommendations

Mit dem Einsatz schnellschaltender Leistungshalbleiter wie SiC-MOSFETs und GaN-Transistoren verkürzen sich die Spannungsanstiegszeiten, wodurch sich die Schaltverluste reduzieren lassen. Gleichzeitig stellen die daraus resultierenden hohen Spannungsgradienten eine neue Herausforderung dar. Sie regen hochfrequente Anteile von Strömen und Spannungen im Antriebssystem an, die zu zusätzlichen Verlusten durch Erdströme bis hin zu schädlichen Potentialverteilungen und Lagerströmen führen können.

Um diese parasitären Effekte bereits im Designprozess gezielt berücksichtigen zu können, bedarf es Methoden zur Vorausberechnung dieser Effekte, welche die Wechselwirkung zwischen den Teilsystemen des Antriebstrangs – Wechselrichter, Motor und Getriebe – berücksichtigen. Zur Bestimmung des Hochfrequenzverhaltens innerhalb des Motors existieren bereits verschiedene etablierte Ansätze [1, 2]. Darüber hinaus wurden Methoden entwickelt, die auch das Getriebe in die Vorausberechnung des Hochfrequenzverhaltens einbeziehen [3].

Wie sich aus den einzelnen Ansätzen Handlungsempfehlungen und Designregeln für einen Antriebsstrang herleiten lassen, ist Gegenstand dieser Arbeit.

With the use of fast-switching power semiconductors such as SiC MOSFETs and GaN transistors, voltage rise times are reduced, which can lead to lower switching losses. At the same time, the resulting high voltage gradients present a new challenge. They excite high-frequency components of currents and voltages within the power drive system, which can lead to additional losses due to common-mode currents, as well as harmful potential distributions and bearing currents.

To account for these parasitic effects at an early stage of the design process, methods for predicting these effects are required that take into account the interactions between the subsystems of the drive train – inverter, motor, and gearbox. Various established approaches for determining the high-frequency behaviour within the motor already exist [1, 2]. In addition, methods have been developed that also incorporate the gearbox into the prediction of the high-frequency behaviour [3].

How concrete recommendations for action and design rules for a drive train can be derived from the individual approaches is the subject of this work.

[1] A. Muetze, „Bearing Currents in Inverter-Fed AC Motors“, Diss., Technische Universität Darmstadt, 2004.
[2] J. Dittmann, „Vorausberechnung der elektrischen Potentialverteilung innerhalb von Haarnadelwicklungen unter Impulsbeanspruchung“, Diss., Leibniz Universität Hannover, 2025.
[3] C. Behrendt, L. Juenmann, M. Krewer und V. Schneider, „FVA 946 I: Sensitivität Lagerströme“, *FVA-Forschungsheft*, Nr. 1649, 2025.

Marius Meiswinkel, Universität Bremen - IALB

12 Zustands- & Fehlererkennung in elektrischen Maschinen mittels multiphysikalischer Sensorik / Condition & fault detection in electric machines using multiphysical sensor technology

Die häufigste Ursache für Stillstände großer elektrischer Maschinen sind Schäden an Wicklungen und deren Isolation, diese Schäden treten lokal auf. Die heute online eingesetzte Überwachung und Früherkennung dieser Schäden ordnet einen Fehler bestenfalls einer Phase oder Komponente über Statorströme und Statorspannungen, Schwingungen und Teilentladungen zu. Verfahren, die den Fehler lokalisieren, erfordern einen Stillstand. Vorgänge im Rotor wie Dämpferströme oder die Temperaturverteilung der Erregerwicklung sind vom Stator aus nur indirekt oder gar nicht zugänglich.

Ein modulares, kontaktloses Telemetriesystem erfasst synchron das Magnetfeld in der Pollücke, die Dämpferstabströme, Temperaturen einschließlich einer rotorfesten Infrarotkamera, die Luftströmung und Schwingungen. Eine Hall-Sonde auf dem Rotor überstreicht in jeder Umdrehung jeden Statorzahn, sodass auch statorseitige Fehler als lokale Signale erscheinen. Die Vorverarbeitung und eine KI-Klassifikation zur Reduktion der nötigen Datenmenge laufen eingebettet auf einem Mikrocontroller im Rotor, übertragen werden nur die Ergebnisse der Fehlererkennung. Eine energieautarke Versorgung ist in Entwicklung.

An einem 366-kVA-Forschungsgenerator werden damit aktuell Umrichteroberschwingungen, Netzunsymmetrie, Exzentrizität sowie Wicklungs- und Dämpferasymmetrien autark erkannt. Die gemessenen Verläufe lassen sich physikalisch eindeutig ihren Ursachen zuordnen, und umrichterseitig eingeprägte Fehler werden auf dem laufenden Generator mit über 99 % Genauigkeit klassifiziert.

The most common cause of outages of large electrical machines is damage to the windings and their insulation. This damage occurs locally. The online monitoring and early detection systems currently in use can, at best, attribute a fault to a specific phase or component based on stator currents and voltages, vibrations, and partial discharges. Methods that pinpoint the exact location of the fault require a shutdown. Processes in the rotor, such as damper currents or the temperature distribution of the field winding, are accessible from the stator only indirectly, if at all.

A modular, contactless telemetry system synchronously measures the magnetic field in the pole gap, the damper bar currents, the temperatures (including those from a rotor-mounted infrared camera), the air flow and vibrations. A Hall probe on the rotor sweeps across every stator tooth in each revolution, so that stator-side faults also appear as local signals. Preprocessing and an AI classification to reduce the required data volume run embedded on a microcontroller on the rotor, and only the results of the fault detection are transmitted. An energy-autonomous supply is under development.

On a 366 kVA research generator, this system is currently used to autonomously detect converter harmonics, grid asymmetry, eccentricity, as well as winding and damper asymmetries. The measured waveforms can be unambiguously attributed to their physical causes, and faults introduced by the converter are classified on the running generator with over 99% accuracy.

Daniel Eggers; Florian Herget; Philipp Szary, thyssenkrupp Steel Europe AG

13 NO-Elektroband und Paketiertechnologien: Werkstoffeigenschaften, Verarbeitungseinflüsse und anwendungsorientierte Untersuchungen / NGO Electrical Steel and stacking technologies: material properties, processing effects and application studies

Die Effizienz von E-Motoren spielt im Bereich der E-Mobilität aber auch bei anderen hochdrehenden Antrieben eine große Rolle. Diese wird maßgeblich durch die magnetischen Eigenschaften der aus NO-Elektroband aufgebauten Stator- und Rotorblechpakete beeinflusst. Die NO-Elektrobandsorten der Produktfamilie powercore® traction wurden speziell für die hohen Anforderungen moderner elektrischer Antriebe entwickelt. Im Vortrag werden die neu entwickelten Premiumgüten vorgestellt.

Neben den Eigenschaften im Auslieferzustand des eingesetzten Elektrobandes beeinflusst auch die Verarbeitung entlang der Fertigungskette die Performance der elektrischen Maschine. Bereits frühe Prozessschritte wie Richten und Stanzen verändern die magnetischen Eigenschaften des Werkstoffs. Darüber hinaus wirken sich unterschiedliche Paketiertechnologien auf die Eigenschaften der Rotor- und Statorpakete aus. Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge werden Referenzmotoren von thyssenkrupp Steel betrachtet, die auf typischen Anforderungen moderner Traktionsantriebe basieren. Anhand experimenteller Untersuchungen werden die Einflüsse von Richten, Stanzen und Paketieren auf die Werkstoff- und Motoreigenschaften dargestellt.

Abschließend werden Ergebnisse aus Prüfstandsuntersuchungen der Referenzmaschinen vorgestellt. Die Untersuchungen zeigen die Vorteile neu entwickelter NO-Elektrobandgüten sowie den Einfluss ausgewählter Fertigungsprozesse auf die Eigenschaften des weichmagnetischen Materials und die Effizienz der elektrischen Maschine. Die gewonnenen Erkenntnisse unterstützen die entwicklungsbegleitende Bewertung neuer Werkstoffgenerationen unter Berücksichtigung relevanter Verarbeitungseinflüsse.

The efficiency of electric motors plays a key role in e-mobility as well as in other high-speed drive applications. It is significantly influenced by the magnetic properties of the stator and rotor stacks made from non-grain-oriented electrical steel. The powercore® traction grades have been specifically developed to meet the demanding requirements of modern electric drives. The presentation will introduce newly developed premium grades and highlight their material properties.

In addition to the properties of the electrical steel in its as-delivered condition, processing along the manufacturing chain also affects the performance of the electrical machine. Early processing steps such as leveling and punching alter the magnetic properties of the material. Furthermore, different stacking technologies influence the properties of the rotor and stator stacks. To investigate these effects, thyssenkrupp Steel reference motors based on typical requirements of modern traction drives are considered. Experimental investigations demonstrate the effects of leveling, punching and stacking on both material and motor properties.

Finally, results from test-bench measurements of the reference motors are presented. The investigations demonstrate the advantages of newly developed NGO electrical steel grades as well as the impact of selected manufacturing processes on the properties of the soft magnetic material and the efficiency of the electrical machine. The findings support the development-related evaluation of new material generations while taking relevant processing effects into account at an early stage.

Eva Bresemann, Leibniz Universität Hannover - IAL;
Dirk Emmrich, Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG

14 Neuartige magnetische Nutverschlusskeile zur Anwendung in elektrischen Maschinen / Novel type of semimagnetic slot wedges for electric machines

Die kontinuierlichen Bemühungen um eine Steigerung des Wirkungsgrads und der Zuverlässigkeit von Wasserkraftgeneratoren haben das Potenzial teilmagnetischer Nutverschlusskeile aufgezeigt. Derzeit verfügbare kommerzielle Lösungen weisen jedoch eine Reihe von Einschränkungen hinsichtlich betrieblicher Zuverlässigkeit, häufig auftretender Schadensmechanismen und des damit verbundenen Wartungsaufwandes auf. Basierend auf industrieller Betriebserfahrung greift die vorliegende Arbeit den Bedarf an weiterentwickelten Lösungen auf und stellt eine neuartige Generation teilmagnetischer Nutverschlusskeile vor, die gezielt zur Optimierung elektromagnetischer und mechanischer Eigenschaften in Wasserkraftgeneratoren entwickelt wurde. Die Fertigung mittels Pultrusion, einem kontinuierlichen Herstellungsverfahren für faserverstärkte Verbundprofile, ermöglicht eine gezielte Einstellung von Eigenschaften wie magnetische Permeabilität und mechanischer Festigkeit. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchungen wird die erste Generation pultrudierter teilmagnetischer Nutverschlusskeile anhand um-fangreicher Material- und Komponentenprüfungen sowie elektromagnetischer Feldsimulationen untersucht. Dabei werden die mechanischen Kennwerte und das elektromagnetische Verhalten der Nutverschlusskeile umfassend charakterisiert. Die Ergebnisse zeigen den quantitativen Einfluss auf Magnetisierungsstrom, Total Harmonic Distortion (THD), Schwingungsanregung, Dämpferströme sowie Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Maschine. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der praktischen Integration und dem betrieblichen Test dieser neuen Nutverschlusskeile in einem Forschungsgenerator des IAL Generator Converter Laboratory (GeCoLab), dessen verfügbare Laborinfrastruktur eine Validierung des Komponentenverhaltens unter praxisnahen Betriebsbedingungen ermöglicht. Die experimentellen Ergebnisse bestätigen die positive Auswirkung auf das Betriebsverhalten des Generators und unterstreichen deren Potenzial für einen breiteren industriellen Einsatz in Wasserkraftgeneratoren sowie verwandten Anwendungen großer elektrischer Maschinen. Abschließend werden die industrielle Relevanz der gewonnenen Erkenntnisse diskutiert und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsschwerpunkte gegeben.

Continuous efforts to enhance the efficiency and reliability of hydropower generators have highlighted the potential of semi-magnetic slot wedges. However, commercially available semi-magnetic slot wedges currently display a number of limitations, particularly regarding prevalent failure mechanisms and maintenance demands. Based on industry case studies, this work responds to the identified need for advanced solutions by proposing a novel generation of semi-magnetic slot wedges, purpose-designed to optimise both electromagnetic and mechanical performance in hydrogenerator applications. The pultrusion process – a continuous manufacturing technique for fibre-reinforced composite sections – enables precise tuning of wedge properties, such as magnetic permeability and structural robustness. This presentation details experimental investigations on the first generation of pultruded semi-magnetic slot wedges, including comprehensive assessment of their mechanical properties and electromagnetic behaviour through systematic testing and numerical electromagnetic simulations. Quantitative influences are demonstrated with respect to magnetisation current, total harmonic distortion (THD), vibration characteristics, damper currents and overall machine efficiency. A focus is set on the practical integration and operational testing of these new slot wedges in a research generator at the IAL Generator Converter Laboratory (GeCoLab). The laboratory's comprehensive infrastructure facilitates detailed validation of real-world component performance. The experimental results verify measurable gains in generator operation, demonstrating their potential for wider industrial deployment of semi-magnetic slot wedges in the hydropower sector and related fields. The presentation concludes with a discussion of the industrial significance of these findings and offers an outlook on prospective research directions.

Tobias Heidrich; Andreas Möckel, Technische Universität Ilmenau

15 Luftkühlung bei elektrischen Maschinen - Theoretische Einflüsse & empirische Analyse / Air cooling in electric machines - theoretical factors & empirical analysis

Aufgrund der geringen Kosten und vermeintlich einfachen Realisierbarkeit wird die Mehrzahl aller elektrischen Antriebe mit Luft gekühlt. Im Gegensatz dazu behandeln die aktuellen wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorrangig flüssigkeitsgekühlte Systeme vor allem für Traktionsantriebe. Die Neuauslegung oder Vorausberechnung der Luftkühlung bei elektrischen Maschinen stellt aber in der Praxis nach wie vor ein schwieriges Unterfangen mit unklaren Randbedingungen dar. Eine Leistungssteigerung bei unveränderter Baugröße ist zudem fast ausschließlich mit Verbesserungen im Wärmemanagement möglich.

Im Rahmen des Beitrags werden theoretisch bekannte Einflussfaktoren auf die Kühlleistung aufgearbeitet und Berechnungswege für Maschinen mit Luftkühlung skizziert. Darüber hinaus wird exemplarisch die Analyse über Versuche vorgestellt, da dies aufgrund komplexer Geometrien und Strömungsverhältnisse insbesondere für neue Konstruktionen auch heute noch unumgänglich ist. Aufbauend auf Versuchen an einem typischen Maschinengehäuse in einem Windkanal [Abb. 1] werden empirische Formeln für die thermische Erstauslegung diskutiert und praktische Empfehlungen für die Anwendung abgeleitet.



Abb. 1: Windkanal Ausstattung Thüringer Innovationszentrum Mobilität an der TU-Ilmenau

Due to their low cost and perceived ease of implementation, the vast majority of electric drives are air-cooled. In contrast, current scientific publications primarily focus on liquid-cooled systems, particularly for traction drives. However, in practice, the redesign or preliminary calculation of air cooling for electric machines remains a difficult undertaking with unclear boundary conditions. Furthermore, an increase in power while maintaining the same size is possible almost exclusively through improvements in thermal management.

This presentation will review theoretically known factors influencing cooling performance and outline calculation methods for air-cooled machines. In addition, experimental analysis will be presented as an example, since this remains essential even today, particularly for new designs, due to complex geometries and flow conditions. Building on experiments conducted on a typical machine housing in a wind tunnel [figure 1], empirical formulas for the initial thermal design are discussed, and practical recommendations for application are derived.

Felix Brenner, Gamma Technologies

16 Von der elektromagnetischen Anregung zu NVH: Elektrische Maschinen in der frühen Entwurfsphase / From electromagnetic excitation to NVH: Early-Stage design of electric machines

Das mechanische Verhalten elektrischer Maschinen spielt eine entscheidende Rolle für Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und das Geräusch-, Schwingungs- und Rauheitsverhalten (NVH) in unterschiedlichsten Anwendungen. Dieser Beitrag stellt aktuelle Verbesserungen in der Handhabung und Benutzerfreundlichkeit der mechanischen und NVH-Berechnungen in GT-FEMAG vor, die eine nahtlose mechanische Simulation elektrischer Maschinen, von der frühen Entwurfsphase bis zur Integration auf Systemebene, ermöglichen. Aufbauend auf der etablierten elektromagnetischen Grundlage von GT-FEMAG bietet der erweiterte mechanische Workflow eine robuste Modellierung von Rotordynamik, Verformung, Spannungsverteilung und modalem Verhalten, die direkt mit den elektromagnetischen Belastungen verknüpft sind.

In der frühen Entwurfsphase ermöglichen parametrische Geometrie- und Materialdefinitionen eine schnelle Bewertung der mechanischen Machbarkeit und die Optimierung von Rotor-Stator-Strukturen, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf Optimierungsstrategien liegt, die den vereinfachten Workflow nutzen. Auf Systemebene unterstützt GT-FEMAG gekoppelte Simulationen, die elektromagnetische, thermische und mechanische Effekte integrieren und so ein umfassendes Verständnis des Maschinenverhaltens unter realistischen Betriebsbedingungen liefern. Die einfache Einbindung von GT-FEMAG in E-Antriebsstrangmodelle auf Systemebene erlaubt detaillierte Untersuchungen des NVH-Verhaltens, das aus den Wechselwirkungen zwischen Elektromotoren und Leistungselektronik resultiert. Ausgewählte Anwendungsfälle zeigen, wie diese Fähigkeiten automatisierte Entwurfsiterationen, vorausschauende Ausfallanalysen und die virtuelle Validierung vor der Prototypenfertigung unterstützen.

The mechanical behavior of electric machines plays a crucial role in ensuring performance, durability, and noise–vibration–harshness (NVH) characteristics across diverse applications. This paper presents recent improvements in the handling and usability of GT-FEMAG's mechanical and NVH calculations, enabling seamless mechanical simulation of electric machines, from the early design stage to system-level integration. Building on GT-FEMAG's established electromagnetic foundation, the enhanced mechanical workflow provides robust modelling of rotor dynamics, deformation, stress distribution, and modal behaviour directly linked to electromagnetic loading conditions.

In the early design phase, parametric geometry and material definitions allow for rapid evaluation of mechanical feasibility and optimization of rotor–stator structures, with a particular focus on optimization strategies that exploit the streamlined workflow. At system level, GT-FEMAG supports coupled simulations that integrate electromagnetic, thermal, and mechanical effects, providing a comprehensive understanding of machine performance under realistic operating conditions. Easy integration of GT-FEMAG into system level e-powertrain models allows for detailed studies of NVH characteristics originating from interactions between electric motors and power electronics. Selected use cases illustrate how these capabilities facilitate automated design iteration, predictive failure analysis, and virtual validation before prototype manufacturing.

Volker Quast; Steffen Krieg, Fischer Elektromotoren GmbH;
Carlo Burkhardt, Hochschule Pforzheim – STI;
Nelson Brito, HYPROMAG GmbH

17 Versorgung mit Neodym-Magneten – Situation dt. Elektromaschinen-Hersteller 2026: Alptraum – Hoffnung – Vision

a Aktuelle Situation deutscher Elektromaschinen-Hersteller / The current situation regarding German manufacturers of electric machines

b Recycling von Neodym-Magneten – Stand der Technik, Möglichkeiten, Magneteigenschaften / Recycling of neodymium magnets – state of the art, possibilities, magnetic properties

c Industrielles Recycling von Neodym-Magneten / Industrial recycling of neodymium magnets

d Aufbereitung und Recycling von elektrischen Maschinen / Refurbishment and recycling of electric machines

Die Vortragsreihe beleuchtet die aktuelle Situation deutscher Elektromaschinenhersteller im Spannungsfeld von konjunkturellem Druck, wachsenden Lebenszyklusanforderungen und unsicheren Lieferketten für Neodym-Magnete. Die Abhängigkeit von Seltenen Erden und chinesische Exportkontrollen machen die Magnetversorgung zu einem operativen Risiko. Mögliche alternative Material- und Lieferantenwechsel können zusätzliche technische Prüfungen und erneute Kundenfreigaben erfordern und führen in den meisten Fällen zu wesentlich höheren Preisen. Neben Wirkungsgrad und Leistung gewinnen deshalb Materialherkunft, Transparenz, Reparierbarkeit und Recycling bereits in der Motorenentwicklung an Bedeutung. Als Auswege werden der Aufbau europäischer Lieferketten sowie die Rückgewinnung von NdFeB-Magnetmaterial und weiteren Werkstoffen wie Kupfer und Aluminium aus ausgedienten elektrischen Maschinen vorgestellt.
In einem separaten Teilvortrag wird konkret gezeigt, wie das Recycling von Seltenerdmagneten einen geschlossenen Materialkreislauf vom Altmagneten zum neuen Magneten ermöglicht. Im Mittelpunkt steht das wasserstoffbasierte HPMS-Verfahren, das NdFeB-Magnete entmagnetisiert und als wiederverwendbares Legierungspulver aus Bauteilen löst. Durch die anschließende Pulveraufbereitung und Magnetfertigung lässt sich das zurückgewonnene Material direkt für neue Magnete nutzen, ohne es zuvor in einzelne Rohstoffe zerlegen zu müssen. Dieser verkürzte Recyclingweg kann den CO_2-Fußabdruck senken und die Versorgungssicherheit stärken.
Für die Akteure der elektrischen Antriebstechnik entstehen daraus neue Aufgaben, Angebote und Chancen: elektrische Maschinen entwickeln und bauen, ihren gesamten Lebenszyklus begleiten und den Materialkreislauf nachvollziehbar und lokal in Europa schließen. Versorgungssicherheit und Kreislauffähigkeit werden damit zu zentralen Anforderungen an Entwicklung, Einkauf und Produktgestaltung.

This presentation series examines the current situation of German electric machine manufacturers amid economic pressure, increasing lifecycle requirements and uncertain supply chains for neodymium magnets. Dependence on rare earth elements and Chinese export controls make magnet supply an operational risk. Switching to alternative materials or suppliers may require additional technical validation and renewed customer approval and, in most cases, results in significantly higher prices. Alongside efficiency and performance, material provenance, transparency, repairability and recycling are therefore becoming increasingly important at the motor design stage. Potential solutions include the development of European supply chains and the recovery of NdFeB magnet material and other materials, such as copper and aluminium, from end-of-life electric machines.
A separate presentation demonstrates how rare earth magnet recycling can enable a closed material loop from old magnets to new ones. It focuses on the hydrogen-based HPMS process, which demagnetises NdFeB magnets and extracts them from components as reusable alloy powder. Subsequent powder processing and magnet manufacturing allow the recovered material to be used directly to produce new magnets, without first separating it into its constituent raw materials. This shorter recycling route can reduce the carbon footprint and strengthen security of supply.
For stakeholders in the electric drive industry, these developments create new responsibilities, service offerings and opportunities: designing & manufacturing electric machines, supporting them throughout their lifecycle, and closing material loops transparently and locally within Europe. Security of supply and circularity thus become key requirements for engineering, procurement and product design.