Technische Universität Braunschweig

IMAB Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen
TU Braunschweig

Technische Universität Braunschweig
Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen
Hans-Sommer Straße 66 | 38106 Braunschweig | Deutschland

Forschungsinfrastruktur

der Arbeitsgruppe Elektrische Antriebssysteme

am Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen

Technische Universität Braunschweig
Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen
Prof. Dr.-Ing. M. Henke

Prüfung von Bordnetzen für Flugzeuge

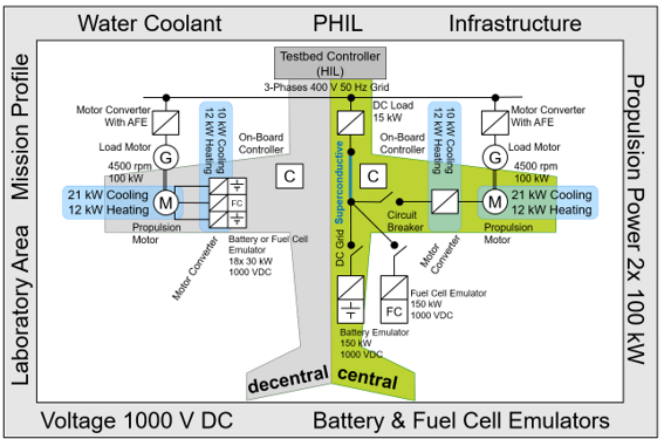
E^2AGLE (im Aufbau)

Kurzbeschreibung:

Prüfstand zur Simulation bzw. Nachbildung von Energieflüssen in einem elektrisch angetriebenen Flugzeug. Der Prüfstand ist funktionell und räumlich zweigeteilt. Während am Standort Hannover eine dezentrale Bordnetzstruktur nachgebildet wird, kann am Prüfstand des IMAB in Braunschweig eine zentrale Bordnetzstruktur untersucht werden. Bei dieser Anordnung speisen ein Brennstoffzellen-Emulator und ein Batterie-Emulator ein gemeinsames DC-Netz, aus dem der Antriebsmotor (Propellerantrieb) und Nebenverbraucher (z.B. Klimaanalage) versorgt werden. Die maximal mögliche mechanische Dauerleistung des Antriebsmotors beträgt 100 kW bei einer maximalen Bordnetzspannung von 1000 V. Im Verbund mit einem hochdynamischen Belastungsmotor als Propellernachbildung können komplexe Flugmanöver und unterschiedliche Betriebsstrategien bezüglich Brennstoffzellen-/Batterieeinsatz untersucht werden. Durch eine Kühlmittelkonditionierung können für den Antriebsmotor und dessen Umrichter außerdem unterschiedliche Betriebstemperaturen eingestellt werden.

Kenndaten

Brennstoffzellen-Emulator		**Batterie-Emulator**	
U_{BZ}	0 … 1000 V	U_{Bat}	0 .. 1000 V
P_{BZ}	0 … 150 kW	P_{Bat}	0 … 150 kW
Antriebsmotor		**Belastungsmotor**	
$P_{mech,N}$	100 kW	$P_{mech,N}$	100 kW
n_N	4500 U/min	n_N	4500 U/min
Kühl-/Heizleistung			
Antriebsmotor	21 kW/ 12 kW		
Antriebsumrichter	10 kW/ 12kW		



Gesamtskizze des E^2AGLE grün: zentrales Bordnetz = Prüfstand am IMAB

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Fabian Kirschke, Günter Tareilus

Lehr- und Forschungsplattform zu elektrischen Fahrzeugantrieben

IMAB-Racer

Kurzbeschreibung:

Lehr- und Versuchsfahrzeug für studentische Projekte und die praktische Erprobung von innovativen Automotive-Komponenten wie neuartigen Antriebsmaschinen und -wechselrichtern, Batteriesystemen, leistungselektronischen Wandlern, Ladetechnik, Bordnetzkonzepten, Steuergeräten oder Kühlsystemen.

Fahrzeug und ausgewählte Komponenten

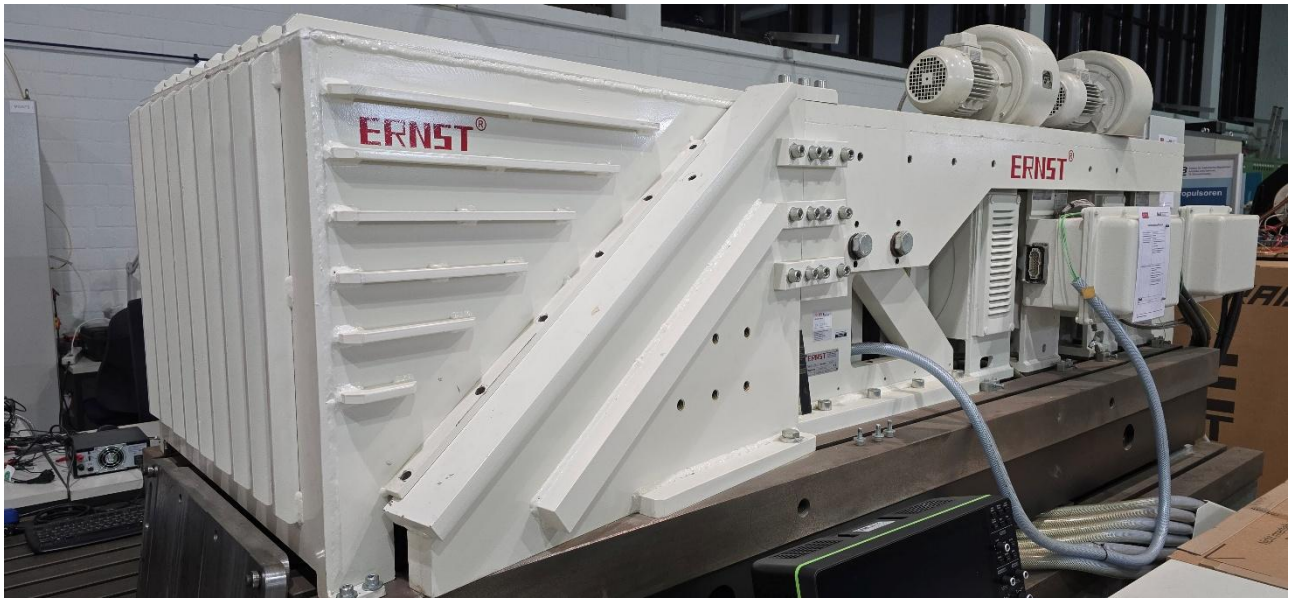
Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Niklas Langmaack, Tim-Hendrik Dietrich

Große Maschinenprüfstände

Kurzbeschreibung:

Diverse Prüfstände für höhere Leistungen in unserer Maschinenhalle, auch Hochdrehzahl, für rotierende Maschinen mit unterschiedlichen Lastmaschinen und diverser Messtechnik. Zudem vorhanden: mehrere massive große Spannmöglichkeiten für Prototypen und auch andere Aufbauten wie z.B. Linearmotoren. Leistungsfähige Stromversorgung, Kühlmöglichkeiten und Messmöglichkeiten sind als Peripherie verfügbar. Die Bandbreite der Messungen reicht von der Elektrik über die Hydraulik, Thermik bis zur Schwingungsanalyse.



Hochdrehzahlprüfstand

Ansprechpartner am IMAB:

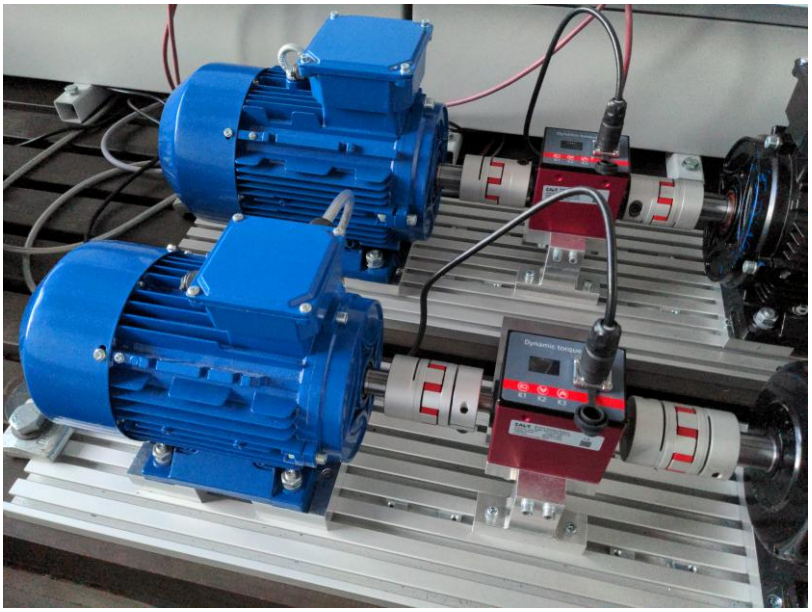
Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, J. Hoffmann

Kleine Maschinenprüfstände für rotierende elektrische Maschinen

Kurzbeschreibung:

Diverse kleine und modulare Prüfstände für rotierende Maschinen mit unterschiedlichen Lastmaschinen und diverser Messtechnik, im Allgemeinen genutzt für Lehre zu elektrischen Maschinen sowie für Forschungsprojekte mit geringeren Leistungsanforderungen, z.B. zu regelungstechnischen Aspekten.

Abbildungen



Zwei kleine Prüfstände für die Lehre

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, N. Langmaack, T.-H. Dietrich

Supraleitung

Kurzbeschreibung:

Als Basis für Versuche im Hochtemperatursupraleiterbereich stehen kryogene Kühlmöglichkeiten wie z.B. GM-Kühler für Temperaturen unter 77K, UHV-Vakuumtechnik, Prüfkammern und flüssiger Stickstoff LN2 zur Verfügung. In der Vergangenheit standen im Zentrum der Versuche YBCO-Bulks für passive, reibungsfreie, eigenstabile Magnetlager, dieses hat sich in den letzten Jahren in Richtung von Versuchen mit REBCO-Tapes verschoben. Möglich sind hier präzise Verlustmessungen mit Leistungsmessgeräten aber z.B. auch mit Lock-In-Technik, zudem Temperaturmessungen, Spannungsmessungen im Mikrovoltbereich. Darüberhinaus besteht auch die Möglichkeit der Magnetfeldmessung.

Abbildungen

Supraleiteranordnung für ein supraleitendes Lager

Ansprechpartner am IMAB:

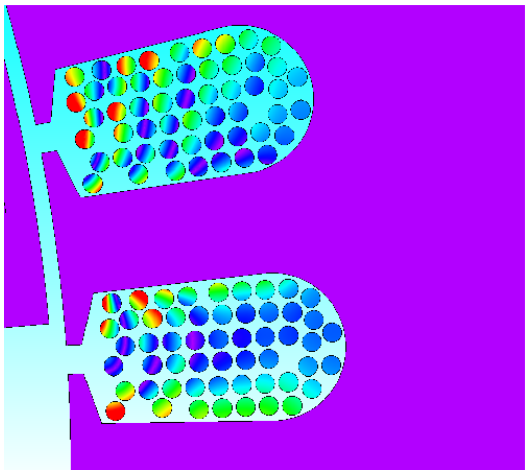
Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, J. Hoffmann

Isolation

Kurzbeschreibung:

Aufgrund von ständig steigenden Werten für die Flankensteilheiten der Spannungen von umrichtergespeisten elektrischen Maschinen entstand in diesem Bereich Forschungsbedarf. Es ist möglich, am IMAB mit einem Teilentladungsmessgerät und weiterer Messtechnik die Isolationsfestigkeit von belasteten Maschinenwicklungen zu testen. Dieses kann auch bei verschiedenen Temperaturstufen z.B. in einem Ofen erfolgen.

Abbildungen



Supraleiteranordnung für ein supraleitendes Lager

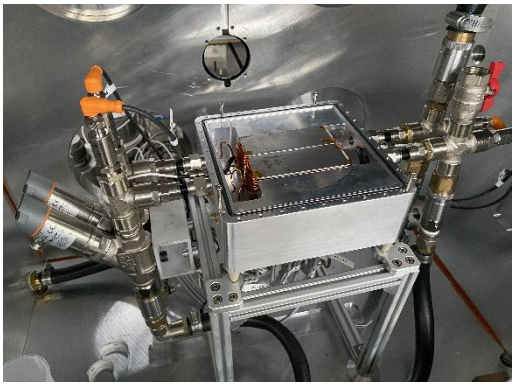
Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, J. Hoffmann

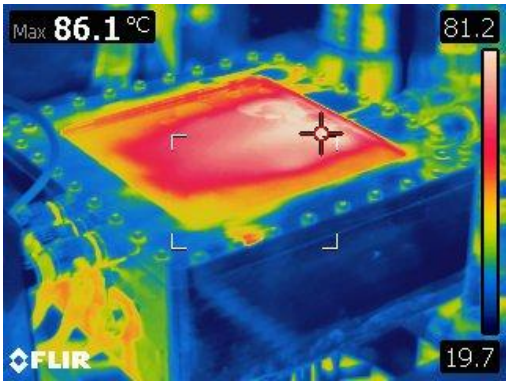
Kühlung elektrischer Maschinen - Prüfstand für direkte Nutkühlung

Kurzbeschreibung:

Der Nutkühlprüfstand dient der thermischen und hydraulischen Vermessung gefluteter Motoretten. Die Motoretten werden von einem dielektrischen Fluid umspült. Der Prüfstand wurde für Einzelzahnwicklungen ausgelegt, bei denen entweder die Wickelköpfe oder die Nutkanäle direkt angeströmt werden können. Der Prüfstand ist einfach adaptierbar.



Prüfstandsaufbau: Links Zuleitung mit Volumenstromsensoren, rechts Ablauf. Mitte Spulenprobenkörper.



Temperaturbild des Prüfstands während Test.

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Jonas Franzki, Jan Hoffmann

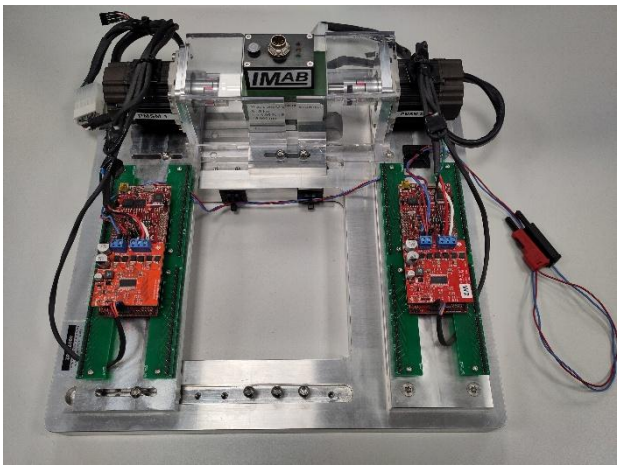
Mobiler 24V-Antriebsprüfstand

Kurzbeschreibung:

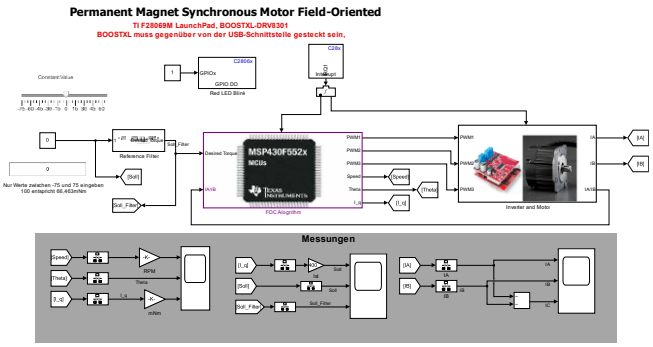
Der mobile Antriebsprüfstand besteht aus zwei gleichen permanentmagneterregten Synchronmaschinen, die mechanisch gekoppelt sind. Er verfügt außerdem über einen Drehmomentsensor. Beide Motoren werden mit einem 2-Level-MOSFET-Wechselrichter angesteuert. Sowohl die Wechselrichter als auch die Steuerplatinen, auf denen Drehmoment- und Drehzahlregelung implementiert sind, sind von der Firma Texas Instruments. Die Software wird in Matlab/Simulink erstellt. Dafür werden die Steuerplatinen jeweils mit dem zugehörigen Laptop verbunden. Damit ist eine Änderung der Reglerparameter im laufenden Betrieb möglich.

Kenndaten

Nenndaten der Maschinen	6000 U/min, 0,2754 Nm
Zwischenkreisspannung	24 V
Schaltfrequenz des Wechselrichters	20 kHz



Aufbau des Prüfstands



Simulink-Modell der Drehmomentregelung

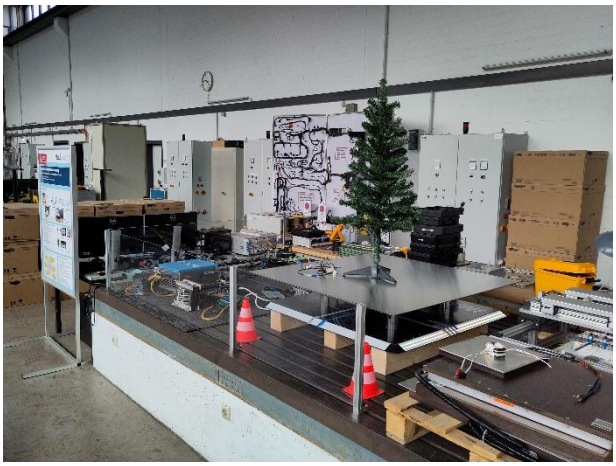
Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Marius Becker

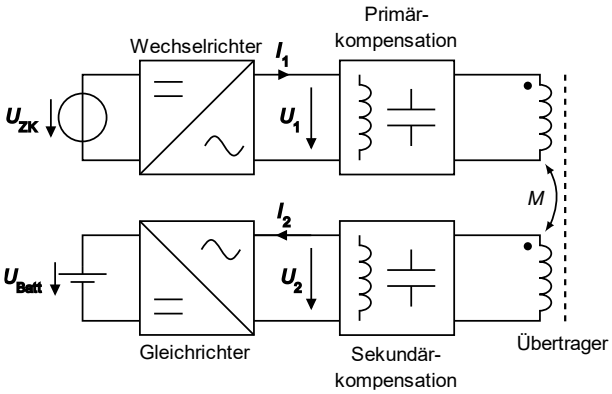
Modularer Induktivladeprüfstand

Kurzbeschreibung:

Mit diesem Prüfstand können Komponenten und Systeme für induktive Energieübertragung getestet werden. Die Zwischenkreisspannung und die Batteriespannung können variiert werden. Der Versatz und der Abstand der Spulen können stufenlos eingestellt werden. Sowohl Primär- als auch Sekundärkompensation sind rekonfigurierbar.



Aufbau des Prüfstands im Labor



Schematischer Aufbau des Prüfstands

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Tim-Hendrik Dietrich, Marius Becker

Maschinenprüfstände am Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF)

Kurzbeschreibung:

Am Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF) verfügt das IMAB über zwei moderne Maschinenprüfstände. Hierbei können nach Bedarf Maschinen für hohe Drehzahl- oder Drehmomentbereiche samt Peripherie untersucht und vermessen werden. Jeder Prüfstand verfügt zudem über einen Batteriesimulator zur Speisung des Prüflingswechselrichters und über eine thermische Konditioniereinheit, sodass Messungen an den Prüflingen unter realitätsnahen Bedingungen (beispielsweise für den Einsatz im Kraftfahrzeug) und in einem breiten Parameterbereich möglich sind.

Kenndaten

	Highspeed	Hightorque
Maximaldrehzahl	16.000 1/min	9.000 1/min
Drehmoment	600 Nm (S1) | 660 Nm (max)	850 Nm (S1) | 1150 Nm (max)
Bremsleistung	200 kW (S1) | 220 kW (max)	350 kW (S1) | 540 kW (max)
Batteriesimulator	800 V | 500 A | 200 kW	800 V | 500 A | 200 kW

Prüf- und Rüstarbeiten an den Maschinenprüfständen

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Tim-Hendrik Dietrich, Jan Hoffmann

Induktivladesystem LISA4CL am NFF

Kurzbeschreibung:

Im Förderprojekt LISA4CL entstand ein induktives Energieübertragungssystem zum Laden von elektrischen Nutzfahrzeugen. Mit dieser Entwicklung zeigten die Projektpartner (IMAB, elenia und INTIS GmbH) eine mögliche Variante für Ladesysteme der 22-kW-Klasse, dass sich in seinem Aufbau an den bestehenden und den in der Entwicklung befindlichen Standards für induktive Ladesysteme orientiert. Während der Projektlaufzeit wurde das System bei einem Paketdienstleister in Berlin eingesetzt und im realen Feldtest erprobt. Nach Projektende erfolgte die Installation am NFF, sodass vor Ort weiterhin Messungen, Experimente, Weiterentwicklungen und Erprobungen durchgeführt werden können.

Ladestation am NFF

Fahrzeug befährt die Ladeplatte (Vorbereitung zum Laden)

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Tim-Hendrik Dietrich

Auslegung elektrischer Maschinen – Werkzeuge

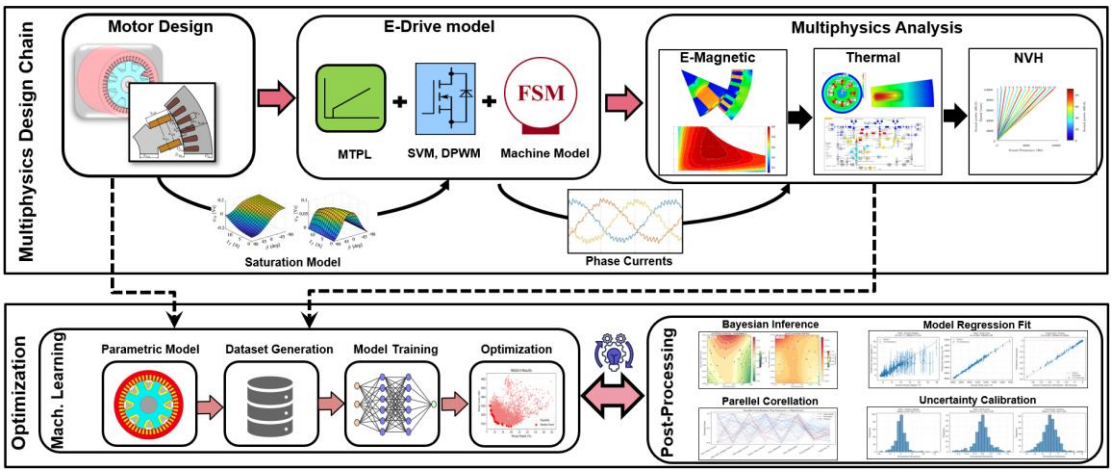
KI-gestütztes multiphysikalisches Framework zur Auslegung und Optimierung umrichtergespeister Elektromotoren

Kurzbeschreibung:

Die am Institut vorhandenen Tools bilden einen vollständigen Entwicklungsprozess von Elektromaschinen ab – von der parametrischen Auslegung über die Modellierung der Antriebsregelung bis zur multiphysikalischen Bewertung und anschließenden Multiobjektoptimierung. Unter Berücksichtigung der umrichterinduzierten Stromoberschwingungen werden in einer elektromagnetischen Simulation die resultierenden Kraftanregungen berechnet und anschließend mit einer thermischen Modellierung gekoppelt, um Verluste und Hotspots zu bestimmen. Darauf aufbauend erfolgt eine NVH-Analyse, in der sowohl die harmonische Strukturantwort als auch die akustische Abstrahlung bewertet werden. Das gesamte Toolkit lässt sich nahtlos mit KI-Methoden kombinieren. Der KI-gestützte Workflow umfasst die Erstellung eines parametrischen Modells, die automatisierte Datengenerierung, das Training geeigneter Surrogat- bzw. Machine-Learning-Modelle sowie die anschließende Multiobjekte Optimierung inklusive Postprocessing.

Kenndaten

Motor	bisher EESM, erweiterbar auf jede Maschinentopologie (z.B. PMSM, SynRM, ASM)
Auswahl bisher umgesetzter Optimierungsziele	Wirkungsgrad und Drehmomentwelligkeit (mehrere Ziele sind möglich)
Softwaretools	Python, Matlab/Simulink, Ansys Workbench, Motor-CAD



Arbeitsablauf des Frameworks

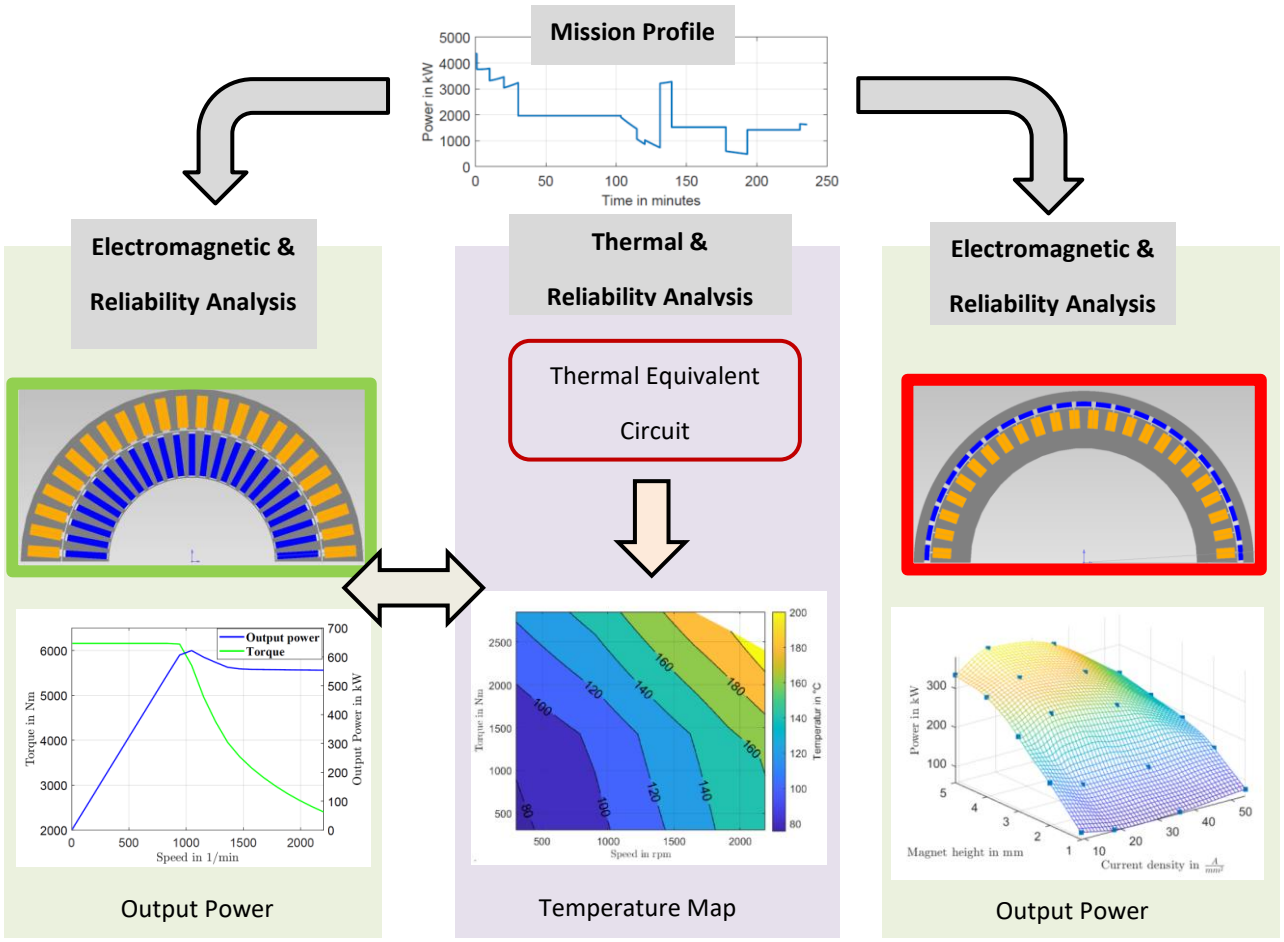
Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Abdullah Sharaf

Auslegung elektrischer Maschinen – Werkzeuge

Entwicklung zuverlässiger und hocheffizienter elektrischer Maschinen

Die gezeichnete Toolkette bietet eine Machbarkeitsanalyse sowie eine multiobjektive Optimierung der Maschinenauslegung. Dabei werden aus verschiedenen Maschinentopologien diejenigen ausgewählt, die die Anforderungen erfüllen. Anschließend werden sie hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit untersucht und elektromagnetisch optimiert. Um die Zuverlässigkeitsanalyse zu vervollständigen, wird für die optimierte elektrische Maschine mithilfe des entworfenen thermischen Ersatznetzwerks ein Temperaturkennfeld erstellt, mit dem der Hot-Spot der Maschine über alle Arbeitspunkte hinweg identifiziert werden kann.



Flowchart

Ansprechpartner am IMAB:

Prof. Dr.-Ing. Markus Henke, Arsham Asgari