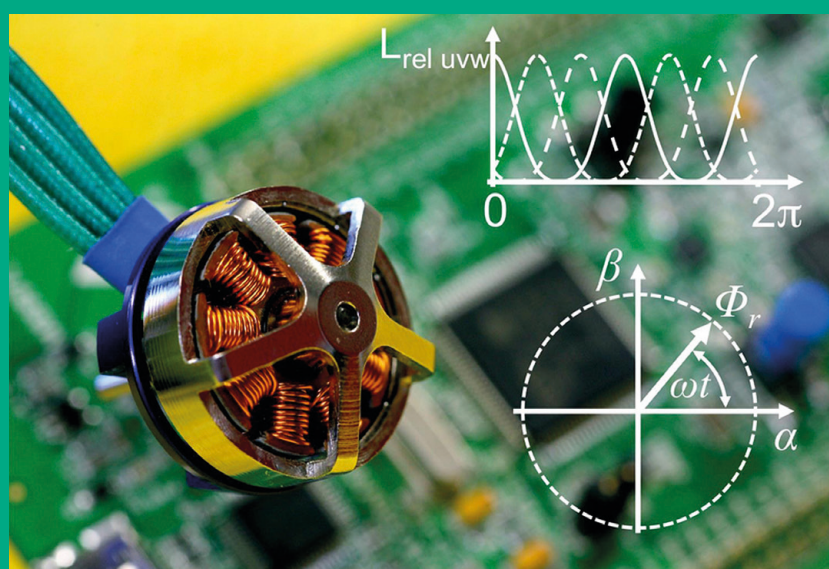


ETG-Fachbericht **159**

# IKMT 2019

Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik  
Innovative small drives and micro-motor systems

Beiträge der 12. ETG/GMM-Fachtagung  
10. – 11. September 2019 in Würzburg



# **IKMT 2019**

## **Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik Innovative small drives and micro-motor systems**

Vorträge der 12. ETG/GMM-Fachtagung  
10. – 11. September 2019 in Würzburg

Veranstalter:

VDE e.V., Energietechnische Gesellschaft (ETG)  
in Zusammenarbeit mit der VDE/VDI-Gesellschaft  
Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM)

Tagungsleitung:

Gerhard Huth, Technische Universität Kaiserslautern

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

ISBN 978-3-8007-5062-7 (CD-ROM)

ISBN 978-3-8007-5063-4 (E-Book)

ISSN 0341-3934

© 2019 VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin  
[www.vde-verlag.de](http://www.vde-verlag.de)

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbeschreibungen etc. berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und von jedermann benutzt werden dürfen. Aus der Veröffentlichung kann nicht geschlossen werden, dass die beschriebenen Lösungen frei von gewerblichen Schutzrechten (z. B. Patente, Gebrauchsmuster) sind. Eine Haftung des Verlags für die Richtigkeit und Brauchbarkeit der veröffentlichten Programme, Schaltungen und sonstigen Anordnungen oder Anleitungen sowie für die Richtigkeit des technischen Inhalts des Werks ist ausgeschlossen. Die gesetzlichen und behördlichen Vorschriften sowie die technischen Regeln (z. B. das VDE-Vorschriftenwerk) in ihren jeweils geltenden Fassungen sind unbedingt zu beachten.

Druck und Bindung: DDZ – Digital-Druck-Zentrum GmbH, Berlin  
Printed in Germany

## Vorwort

In der Antriebstechnik besteht ein stetiger Trend zur mechanischen, elektrischen und informations-technischen Integration in den technologischen Prozess. Es entstehen komplexe mechatronische Antriebssysteme, deren Produktentwicklung ein hohes Maß an Entwicklungsqualität verlangt. Die Vermittlung von Methoden- und Systemkompetenz sowie der effiziente Einsatz von Entwicklungstools sind hierzu notwendige Voraussetzungen. Bei der Forderung nach immer kürzeren Innovationszyklen kann die Simulation von Antriebskomponenten sowie des gesamten Antriebssystems die Entwicklungszeit aber auch die Entwicklungsrisiken deutlich senken. Neben der reinen Simulation ermöglichen durchgängige Entwicklungstools eine schnelle experimentelle Erprobung. Dies ist von steigender Bedeutung, wird doch das Betriebsverhalten des Antriebes zunehmend durch Steuer- und Regelalgorithmen bestimmt. Feinwerktechnisch und mikrotechnisch hergestellte Antriebe eröffnen neue Anwendungsmöglichkeiten, gerade, wenn es um die Miniaturisierung von Systemen geht. Neben den konventionellen Antriebsprinzipien gewinnen hier auch die unkonventionellen Aktorprinzipien an Bedeutung, zum Teil ist erst ihr Einsatz zielführend.

Über diese Themen informieren Experten aus Forschung und Entwicklung am 10. und 11. September 2019 in Würzburg. Bereits zum 12. Mal findet die Fachtagung „Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik“ des VDE statt, dieses Mal mit 25 peer-reviewed Beiträgen und drei Keynote-Vorträgen. Die Veranstaltung ist ein Fachforum für Entwickler, Hersteller und Anwender von Antriebskomponenten und Systemen im unteren Leistungsbereich, sie fördert die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen.

## Zielgruppen

Entwickler, Hersteller, Anwender und Zulieferer aus den Bereichen:

- Automotive
- Elektrowerkzeuge, Power-Tools
- Bearbeitungs- und Montagetechnik
- Consumer-Elektronik, Aktorik für Multimedia-Techniken, IT/TK-Geräte, Hausgeräte
- Gebäudeautomatisierung, Haus- und Klimatechnik
- Labor- und Medizintechnik
- Automatisierungstechnik, Prüf-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- Feinwerktechnik, Gerätetechnik
- Mechatronik, Robotik
- Entwicklungsmethodik

## **Programmausschuss**

Wolfgang Amrhein, Johannes Kepler Universität Linz, Österreich

Thomas Bertolini, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & CO. KG, Schönaich

Johannes Bilz, Technische Universität Darmstadt

Armin Dietz, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Carsten Fräger, Hochschule Hannover

Bernd Gundelsweiler, Universität Stuttgart

Wilhelm Hackmann, Continental, Berlin

Björn Hagemann, Delta Electronics (Netherlands) B.V.

Jürgen Halfmann, Robert Bosch GmbH, Bühl

Bernd Löhlein, Technische Universität Kaiserslautern

Andreas Möckel, Technische Universität Ilmenau

Matthias Nienhaus, Universität des Saarlandes, Saarbrücken

Bernd Ponick, Leibniz-Universität Hannover

## Inhaltverzeichnis

### Direktantriebe

- 1 Linear Direct Drive with Inductive Energy Transmission ..... 8**  
Marcel Mittag, Bernd Gundelsweiler, University of Stuttgart, Germany
- 2 Design of an Integrated Linear Flux Modulating Motor for a Direct-drive Belt Conveyor ... 14**  
Alexander Hoffmann, Malte Kanus, Ludger Overmeyer, Bernd Ponick, Leibniz University Hannover, Germany
- 3 Resource-saving circulation pump through optimization of the integrated canned motor .... 20**  
Juri Dolgirev, Marc Kalter, Sven Urschel, University of Applied Sciences Kaiserslautern, Germany;  
Ralph Funck, Jens Jung, Volker Schimmelpfennig, CirComp GmbH, Kaiserslautern, Germany

### Entwurf und Simulation 1

- 4 Comparison of PM line-start motors with surface-mounted and inserted magnets ..... 26**  
Gerhard Huth, Hans-Georg Schirmer, University of Kaiserslautern, Germany
- 5 PM line-start short motors with double tooth-coil winding ..... 33**  
Gerhard Huth, University of Kaiserslautern, Germany; Jens Krotsch, ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, Mulfingen, Germany
- 6 Influence of inverter harmonics on continuous performance of a permanent magnet drive ... 40**  
Sven Luthardt, Rödental, Germany; Dieter Gerling, Bundeswehr University Munich, Neubiberg, Germany
- 7 Electric machine design automation with Python and ANSYS Maxwell ..... 46**  
Patrick Schwarz, Andreas Möckel, Technical University Ilmenau, Germany

### Piezoelektrische Antriebe, unkonventionelle Antriebe

- 8 Piezo-Actuated XYPhi-Motor based on Hemispherical Resonators ..... 53**  
Frank Schiele, Bernd Gundelsweiler, Wolfgang Schinköthe, University of Stuttgart, Germany
- 9 Magnetic Flux Control through Magnetic Shape Memory Alloys in Reluctance Actuators ... 58**  
Marco Hutter, Markus Raab, Bernd Gundelsweiler, University of Stuttgart, Germany;  
Arif Kazi, Fabian Wolf, Aalen University of Applied Sciences, Germany
- 10 Series and parallel actuation array of elastic micro-twisted string actuators ..... 64**  
Savio A. D. Souza, Pia Mühlbauer, Swantje Janzen, Jan Liu, Peter P. Pott, Universität Stuttgart, Germany
- 11 Demonstrator of a low-cost active knee orthosis with twisted string actuation ..... 69**  
Pia Mühlbauer, Swantje Janzen, Kent Stewart, Peter P. Pott, University Stuttgart, Germany

## **Mechatronische Antriebssysteme 1**

- 12 Cooling of Linear Direct Drives in Precision Engineering with Piezo Fans** ..... 74  
 Simon Strohmeyr, Bernd Gundelsweiler, Wolfgang Schinköthe, Sabri Baazouzi, University of Stuttgart, Germany
- 13 Influence of PM-Material on the Parameter Uncertainty of Bearingless Synchronous Machines** ..... 80  
 Daniel Dietz, Andreas Binder, Technical University of Darmstadt, Germany

## **Keynote**

- 14 Hochauflösende miniaturisierte Längenmesssysteme auf magnetischer Basis für Klein- und Mikroantriebe** ..... 86  
 Rolf Slatter, Sensitec GmbH, Lahnu, Deutschland

## **Entwurf und Simulation 2**

- 15 Impact of different cutting methods on core losses and magnetizing demand of electrical steel sheets** ..... 92  
 Michael Reinlein, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach, Germany; Martin Regnet, A. Kremser, Technische Hochschule Nürnberg, Germany; P. Szary, thyssenkrupp Steel Europe AG, Bochum, Germany; U. Abele, Gebrüder Waasner, Forchheim, Germany
- 16 Semi-analytical and numerical calculation of a great number of induction machines taking into account cutting edges** ..... 97  
 Michael Reinlein, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Weissach, Germany; M. Regnet, A. Kremser, Technische Hochschule Nürnberg, Germany; P. Szary, thyssenkrupp Steel Europe AG, Bochum, Germany; U. Abele, Gebrüder Waasner, Forchheim, Germany
- 17 Numerical and Analytical Investigation of Rotor Eddy Current Losses for a Super High Speed Permanent Magnet Synchronous Motor** ..... 102  
 Jiawei He, Bernd Löhlein, Gerhard Huth, Technical University of Kaiserslautern, Germany
- 18 Concept of a two-stator axial flux machine with field-wound fiber-composite rotor** ..... 110  
 Fabian Endert, Andreas Möckel, Technical Universität of Ilmenau, Germany

## **Antriebssteuerung und Antriebsregelung**

- 19 Dual loop position control for mechanical systems with backlash and elasticity** ..... 116  
 Federico Percacci, Marko Tanaskovic, Weisheng Kong, Chen Zhao, Patrik Gnos, maxon motor ag, Sachseln, Switzerland
- 20 Comparison of Reinforcement Learning Algorithms for Speed Ripple Reduction of Permanent Magnet Synchronous Motor** ..... 122  
 Tobias Schindler, Lukas Foss, Armin Dietz, Technische Hochschule Nürnberg, Nuremberg, Germany
- 21 Comparison between sliding mode load-torque observer techniques for DC motor without torque sensor** ..... 128  
 Stefano Fabbri, Niklas König, Matthias Nienhaus, Emanuele Grasso, Saarland University, Saarbrücken, Germany

<b>22</b>	<b>Combination of two different sensorless techniques for complete speed range sensorless drive and control of small sized PMSMs</b> .....	<b>134</b>
	Stefano Fabbri, Klaus Schuhmacher, Matthias Nienhaus, Emanuele Grasso, Saarland University, Saarbrücken, Germany	
<b>23</b>	<b>Hybrid amplitude and vibration control for a small-scale linear drive with two sliders magnetically spring-loaded</b> .....	<b>140</b>
	Abd Elkarim Masoud, Jürgen Maas, Technical University Berlin, Germany	
<b>24</b>	<b>Brushless Excitation System for Synchronous Machines with Rotary Transformer supplied by Common Mode Voltage</b> .....	<b>146</b>
	Stefan Udemä, Carsten Fräger, University of Applied Science and Arts, Hannover, Germany	

## **Mechatronische Antriebssysteme 2**

<b>25</b>	<b>Aspects of High Performance Flat External Rotor Motors</b> .....	<b>152</b>
	Frank Schwenker, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Schönaich, Germany	
<b>26</b>	<b>Identification and Approximation of Time Variant Parameters of the Electric Model of Permanent Magnet Synchronous Machines</b> .....	<b>156</b>
	Nils Wilcken, Carsten Fräger, University of Applied Sciences and Arts, Hannover, Germany	