

Bashir Fakih

**Tribologisch und elektrisch Induzierte
Effekte im Kommutator-Bürste-Kontakt
im permanent erregten Gleichstrommotor**



Universitätsverlag Ilmenau

2018

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Diese Arbeit hat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Ilmenau als Dissertation vorgelegen.

Tag der Einreichung: 17. Oktober 2017
1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Berger
(Technische Universität Ilmenau)
2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Martin Dienwiebel
(Karlsruher Institut für Technologie (KIT))
3. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Mücklich
(Universität des Saarlandes)
Tag der Verteidigung: 14. Mai 2018

Technische Universität Ilmenau/Universitätsbibliothek

Universitätsverlag Ilmenau

Postfach 10 05 65

98684 Ilmenau

<http://www.tu-ilmenau.de/universitaetsverlag>

readbox unipress

in der readbox publishing GmbH

Am Hawerkamp 31

48155 Münster

<http://unipress.readbox.net/>

ISSN 2194-2838 (Druckausgabe)

ISBN 978-3-86360-181-2 (Druckausgabe)

URN urn:nbn:de:gbv:ilm1-2018000117

Titelfotos:

© iStockphoto.com : JLGutierre ; timmy ; 3alexnd ; Elxeneize ; tap10
yuyang/Bigstock.com

M. Streck, FG EGA | F. Nothnagel, FG EGA | D. Westermann, FG EEV

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielstellung der Arbeit	1
2	Grundlagen	3
2.1	Aufbau und Funktionsweise eines permanent erregten Elektromotors	3
2.2	Tribologisches System Kohlebürste-Kommutator	5
2.2.1	Kohlebürste	5
2.2.2	Kommutator und Patina	8
2.2.3	Reibung	10
2.2.4	Verschleiß	12
2.2.5	Lichtbogen	13
2.3	Kontakttemperatur des Kohlebürste-Kommutator-Systems	15
2.3.1	Das Ellipsoidmodell zur Berechnung der Kontakttemperatur zwischen der Bürste und dem Kommutator	15
2.3.2	Die Beziehung zwischen elektrischem Potenzial φ und Temperatur T_θ im unsymmetrischen Kontakt	17
2.3.3	Wärme durch die Reibung	21
2.3.4	Die mechanische Kontaktfläche	23
2.3.5	Temperaturanstieg in Abhängigkeit der Zeit aufgrund der Rotations- bewegung	25
2.4	Messmethoden	28
2.4.1	Aufbau eines Kohlebürstenprüfstands	28
2.4.2	Dauerlauf-Prüfstand	32
2.4.3	Analytik	33
3	Pressrichtung der Bürsten	39
3.1	Stand der Technik	39
3.2	Zielsetzung	40
3.3	Probenkörper und Versuchsparameter	40
3.3.1	Kohlebürste	40
3.3.2	Kommutator	41

3.3.3	Versuchsparameter	42
3.4	Gefügeanalyse der Kohlebürsten mit verschiedenen Pressrichtungen	42
3.4.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	45
3.5	Stromlose Versuche ohne Kommutierungsstrom	46
3.5.1	Verschleiß und Reibungswärme	46
3.5.2	Topographie	48
3.6	Versuche mit Strom ohne Kommutierungssystem	48
3.6.1	Verschleiß- und Temperaturmessung	48
3.6.2	Chemische Zusammensetzung der Lamellen	49
3.7	Triboversuche mit Kommutierungssystem am Dauerlaufprüfstand	52
3.7.1	Verschleiß	52
3.7.2	Analyse der Proben aus dem Dauerlaufprüfstand	53
3.8	Festigkeitssteigerung durch Partikelbestrahlung	61
3.8.1	Oberflächenbehandlung des Kommutators durch Partikelbestrahlung	62
3.8.2	Topographische Analyse	62
3.8.3	Gefügeanalyse und chemische Zusammensetzung	63
3.8.4	Dauerlaufversuch	64
3.9	Diskussion	66
3.9.1	Beurteilung der Materialorientierung in der Kohlebürste	66
3.9.2	Einfluss der Pressrichtung auf das Bürstenverhalten bei stromlosen Versuchen	66
3.9.3	Wärmeleitung, abhängig von der Werkstofforientierung und Anzahl der Graphitebenen	69
3.9.4	Einfluss des Stroms auf das Bürstenverhalten mit unterschiedlichen Pressrichtungen	72
3.9.5	Einfluss des Kommutierungsstroms auf das Tribosystem in Abhängigkeit der Materialorientierung	75
3.10	Kurzzusammenfassung	79
4	Geschmierte elektrische Reibkontakte in DC-Motoren	81
4.1	Grundlagen für Schmieröle im elektrischen Kontakt	81
4.2	Zielsetzung	83
4.3	Reibungs- und Verschleißmessungen von geschmierten Kontakten	85
4.3.1	Auswahl der Schmieröle	85
4.3.2	Verschleißmessung am KBP ohne Kommutierungsstrom	86
4.3.3	Verschleißmessung mit Kommutierungsstrom	91
4.4	Post-mortem Charakterisierung der Reibkontakte	93
4.4.1	Topographie	93

4.4.2 Mikrostrukturanalyse	96
4.5 Diskussion	106
4.5.1 Einfluss des Schmieröls auf die Reibung und den Verschleiß	106
4.5.2 Modell zum Kommutatorverschleiß	110
5 Einfluss der Sintertemperatur auf das Bürstenverhalten	115
5.1 Zielsetzung	115
5.2 Charakterisierung der fehlerhaften gesinterten Bürsten	115
5.2.1 Verhalten der hochohmigen Bürste am Kohlebürsten-Prüfstand	116
5.2.2 Mechanischer Druckversuch	118
5.2.3 Chemische Analyse	119
5.3 Diskussion	125
5.3.1 Einfluss des fehlerhaften Sinterns auf die chemischen Eigenschaften der Bürste	125
5.3.2 Einfluss des fehlerhaften Sinterns auf die mechanischen Eigenschaften der Bürste	126
5.3.3 Einfluss des fehlerhaften Sinterns auf die elektrischen Eigenschaften der Bürste	126
5.3.4 Korrelation zwischen den Einflussgrößen	127
5.4 Kurzzusammenfassung	130
6 Zusammenfassung und Ausblick	131
Literaturverzeichnis	135
Abbildungsverzeichnis	141
Tabellenverzeichnis	145
Anhang A	147
Anhang B	155
Anhang C	157
Publikationen	159