

**Systemspezifische Schmierfilmdissipation in den radialen Lagerstellen von  
Abgasturboladern**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Daniel Porzig  
aus Hamburg

genehmigt von der  
Fakultät für Mathematik/Informatik und Maschinenbau  
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung

11.03.2015

**Vorsitzender der Promotionskommission:** Prof. Dr.-Ing. A. Esderts

**Hauptberichterstatter:** Prof. Dr.-Ing. H. Schwarze

**Berichterstatter:** Prof. Dr.-Ing. L. Deters

Fortschrittsberichte des Instituts für Tribologie und  
Energiewandlungsmaschinen

Band 20

**Daniel Porzig**

**Systemspezifische Schmierfilmdissipation in den  
radialen Lagerstellen von Abgasturboladern**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag  
Aachen 2015

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zagl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3584-1

ISSN 1611-8154

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen der Technische Universität Clausthal entstanden.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Schwarze, für die wissenschaftliche Betreuung meiner Dissertation, das mir entgegengebrachte Vertrauen und den großen Freiraum bei der Bearbeitung meiner Aufgaben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. L. Deters danke ich herzlich für das Interesse an dieser Arbeit, die bereitwillige Übernahme des Korreferats und der damit verbundenen Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank allen aktuellen und ehemaligen Mitarbeitern sowie wissenschaftlichen Hilfskräften des Institutes, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Dabei sind Herr Dr.-Ing. T. Hagemann, Herr Dipl.-Math. C. Kraft und Herr Dr.-Ing. H. Blumenthal hervorzuheben, die mich in besonderem Maße fachlich unterstützt haben. Allen Mitarbeitern des Instituts einschließlich der Damen des Sekretariats und dem Werkstattpersonal danke ich für die gute Zusammenarbeit und das stets sehr angenehme Arbeitsklima. Außerdem gilt mein Gedenken unserem Freund und Kollegen, Herrn M. Sc. L. Dhri.

Diese Arbeit beinhaltet wesentliche Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „Systemspezifische Turbolader-Schmierfilmdissipation“, das von der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. gefördert wurde. Dem projektbegleitenden Ausschuss unter Leitung von Herrn Dipl.-Ing. U. Tomm sowie Prof. Dr.-Ing. R. Baar danke ich für wertvolle Anregungen und konstruktive Diskussionen. Besonderer Dank gilt meinem Projektpartner Herrn Dipl.-Ing. H. Rätz vom Institut für Turbomaschinen und Fluid-Dynamik an der Leibniz Universität Hannover für die hervorragende Zusammenarbeit und die Bereitstellung von Messdaten, auf die im Rahmen der vorliegenden Dissertation zurückgegriffen wird.

Ein ganz herzlicher Dank geht an meine Eltern, die mir durch uneingeschränkte persönliche und finanzielle Unterstützung meine Ausbildung und die Promotion ermöglicht haben.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Stand der Forschung.....	3
1.2.1 Allgemeine hochtourige Radialgleitlagerungen .....	3
1.2.2 ATL-Radialgleitlagerungen mit gekoppelten Schmierfilmen .....	6
1.2.3 Stabilitätsverhalten von ATL-Rotoren in Schwimmbuchsenlagern.....	8
1.2.4 Zusammenfassung.....	10
1.3 Zielsetzung und Lösungsweg.....	11
<b>2 Theoretische Beschreibung des Lagermodells für Schwimmbuchsenlager ..</b>	<b>13</b>
2.1 Energie- und Volumenstrombilanz des Schwimmbuchsenlagers.....	17
2.2 Schmierpaltströmung und Druckverteilung .....	19
2.2.1 Reynolds'sche Differenzialgleichung.....	19
2.2.2 Randbedingungen der Reynolds'schen Differenzialgleichung.....	27
2.2.3 Geometrische Beschreibung des Lagerspalts .....	28
2.2.4 Numerische Lösung der Reynoldsgleichung .....	29
2.3 Thermisches Lagermodell .....	32
2.3.1 Energiegleichung für die Schmierfilme .....	33
2.3.2 Wärmeleitungsgleichungen für die Lagerfestkörper .....	38
2.3.3 Randbedingungen für die Berechnung des thermischen Lagerzustands .....	41
2.3.4 Änderung der Lagerspiele infolge thermischer Einflüsse im Betrieb.....	47
<b>3 Berechnungsprogramm FLOBUCOM.....</b>	<b>49</b>
3.1 Grundstruktur des Programms FLOBUCOM .....	50

---

3.2	Ermittlung der statischen Verlagerungspunkte von Welle und Lagerbuchse .	53
3.3	Berechnung des thermischen Zustands der Gesamtlagerung .....	53
3.4	Iterative Bestimmung der Lagerbuchsendrehzahl .....	54
3.5	Berücksichtigung der hydraulischen Schmierfilmkopplung .....	56
3.6	Lagerkennwerte .....	60
<b>4</b>	<b>Verifikation durch Vergleichsrechnungen und –messungen .....</b>	<b>62</b>
4.1	Kennwertvergleich mit COMBROS für eine profilierte Lagerbuchse .....	62
4.2	Vergleich mit Messungen eines realitätsnah betriebenen ATLS .....	68
4.2.1	Thermophysikalische Simulationsrandbedingungen .....	68
4.2.2	Berechnungsergebnisse .....	72
4.3	Vergleich mit Messungen eines kalt betriebenen Turboladers .....	79
<b>5</b>	<b>Berechnungsergebnisse ausgewählter Sensitivitätsstudien .....</b>	<b>83</b>
5.1	Einfluss der Schmierstoffzuführparameter .....	83
5.2	Einfluss der Viskositätscharakteristik des Schmierstoffs .....	86
5.3	Einfluss von fertigungsbedingten Lagerspielabweichungen .....	88
5.4	Einflüsse durch Lagergeometrie und Werkstoffwahl .....	91
5.4.1	Variation des Gleitflächenbreitenverhältnisses .....	94
5.4.2	Anzahl radialer Kopplungsbohrungen am Umfang der Buchse .....	96
5.4.3	Breite der umlaufenden Ringnut an der Buchsenaußenfläche .....	98
5.4.4	Einfluss der Wärmeleitfähigkeit des Lagerbuchsenwerkstoffs .....	99
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>106</b>