

Experimentelle Untersuchung zur
Verschleißreduzierung von Kolbenringen und
Zylinderlaufbahnen in Dieselmotoren bei
Einsatz von schwefelhaltigen Kraftstoffen

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von
M. Sc. Constantin Blaß
aus Miltenberg

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

Tag der mündlichen Prüfung
23. März 2016

Vorsitzender der Prüfungskommission:	Prof. Dr.-Ing. T. Turek
Hauptberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. H. Schwarze
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. H. Palkowski
	Prof. Dr.-Ing. V. Wesling
eingereicht am:	27.Juli 2015
mündliche Prüfung am:	23.März 2016
Druckjahr:	2016

Fortschrittsberichte des Instituts für Tribologie und
Energiewandlungsmaschinen

Band 22

Constantin Blaß

**Experimentelle Untersuchung zur
Verschleißreduzierung von Kolbenringen
und Zylinderlaufbahnen in Dieselmotoren
bei Einsatz von schwefelhaltigen Kraftstoffen**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2016

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.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4497-3

ISSN 1611-8154

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als Doktorand der Volkswagen AG in Wolfsburg unter Betreuung des Institutes für Tribologie und Energiewandlungsmaschinen der TU Clausthal-Zellerfeld.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Schwarze, dem Leiter des Institutes, danke ich sehr für das große Interesse an meiner Arbeit sowie die stete Unterstützung, welche zum Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beigetragen hat. Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Palkowski und Prof. Dr.-Ing. V. Wesling danke ich sehr für die Übernahme des Koreferates und die damit verbundenen Mühen. Ebenso Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Turek für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Ebenso danke ich Herrn Dipl.-Ing. Kahrstedt, dem Leiter der Dieselmotorenentwicklung der Volkswagen AG, sowie dem Leiter der Abteilung EADL, Herrn Dr.-Ing. Pott, die die Erstellung der Arbeit ermöglichten. Mein Dank gilt weiterhin dem Leiter der Unterabteilung des Triebwerkversuches, Herrn Dr.-Ing. Neuendorf, sowie allen Mitarbeitern.

Besonders möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Flor für die Übernahme der firmenseitigen Betreuung der Promotion bedanken. Die immerwährende Gesprächsbereitschaft und die zahlreichen Anregungen haben die Arbeit gefördert.

Ebenfalls möchte ich allen Mitarbeitern der Aggregateentwicklung, der Zylinderkurbelgehäusefertigung im Werk Salzgitter und der Labore der Volkswagen AG in Wolfsburg und Salzgitter danken, die zur Unterstützung der Arbeit beigetragen haben.

Mein abschließender Dank gilt den Mitarbeitern aller Firmen, die mich bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt haben.

Constantin Blaß

Wolfsburg, im April 2016

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Nomenklatur	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Wissenschaft	3
3 Theoretische Grundlagen	6
3.1 Tribologische Grundlagen	6
3.1.1 Reibung	7
3.1.2 Verschleiß	9
3.1.3 Schmierung	11
3.1.4 Tribologisches System Kolbenring / Zylinderlaufbahn .	12
3.1.5 Typische Verschleißerscheinungen im Verbrennungsmotor	16
3.2 Korrosion im Brennraum	19
3.2.1 Korrosion	19
3.2.2 Bildung von Säuren im Verbrennungsmotor	20
3.2.3 Taupunktkorrosion	22
3.2.4 Heißgaskorrosion	24
3.2.5 Tribokorrosion	25
3.3 Kraftstoffe und Schmierstoffe	26
3.3.1 Diesekraftstoffe	26
3.3.2 Schlechkraftstoffe	27
3.3.3 Schmierstoffe	30
3.3.4 Ölverbrauch	30
3.3.5 Blow-By	31
3.3.6 Ölalterung	31
3.4 Prüfverfahren von Zylinderlaufflächen	33
3.4.1 Tastschnittmessung	33
3.4.2 Konfokalmikroskopie	34
3.4.3 FAX-Filmaufnahmen	34
3.4.4 Elektronenmikroskopie (REM/FEM)	35
3.4.5 Energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX)	36
3.4.6 Radio-Nuklid-Technologie (RNT)	37
4 Verschleißverhalten bei Schlechkraftstoffen	39
4.1 Prüfläufe	39
4.1.1 Fahrzeugdauerlauf	39
4.1.2 Prüfstandsversuch	39
4.1.3 Verwendete Kraftstoffe	40
4.2 Messungen zum Zylinderverschleiß	40

4.2.1	Zwickelverschleiß	40
4.2.2	Korrosion	43
4.3	Messungen zum Kolbenringverschleiß	44
4.3.1	Laufflächenverschleiß	44
4.3.2	Flankenverschleiß	46
4.3.3	REM-Untersuchung	50
4.4	Einflüsse auf den Verschleiß	54
4.4.1	Einfluss der Leistung	54
4.4.2	Einfluss der Schwefelkonzentration	56
4.4.3	Einfluss der Abgasrückführung (AGR)	56
4.4.4	Einfluss der Honqualität	58
4.5	Messungen zum Motoröl	62
4.5.1	Ölverbrauch und Blow-By	62
4.5.2	Ölalterung	65
5	Robuste Zylinderlaufbahn und Kolbenringe	72
5.1	Modifizierte Fluidstrahlglätthnung	72
5.2	Zylinderbuchsen aus Schleuderguss	75
5.2.1	Perlitische Buchsen (B2421)	76
5.2.2	Bainitische Buchsen (F4027)	77
5.2.3	Buchsen aus der Kundendienstlösung des 2,5 l R5k-TDI-Motors	77
5.2.4	Versuchsergebnisse	77
5.3	Plasmaspritzschichten	81
5.3.1	Aufrauprozess	81
5.3.2	Plasmaspritzen	85
5.3.3	Schichtauswahl	86
5.3.4	Korrosionsuntersuchung	88
5.3.5	Tribometer	91
5.3.6	RNT Prüfstand	94
5.3.7	Motorische Erprobung	96
5.4	Kolbenringe	99
5.4.1	Topring	99
5.4.2	Minutenring	103
6	Zusammenfassung und Ausblick	107
	Literaturverzeichnis	111