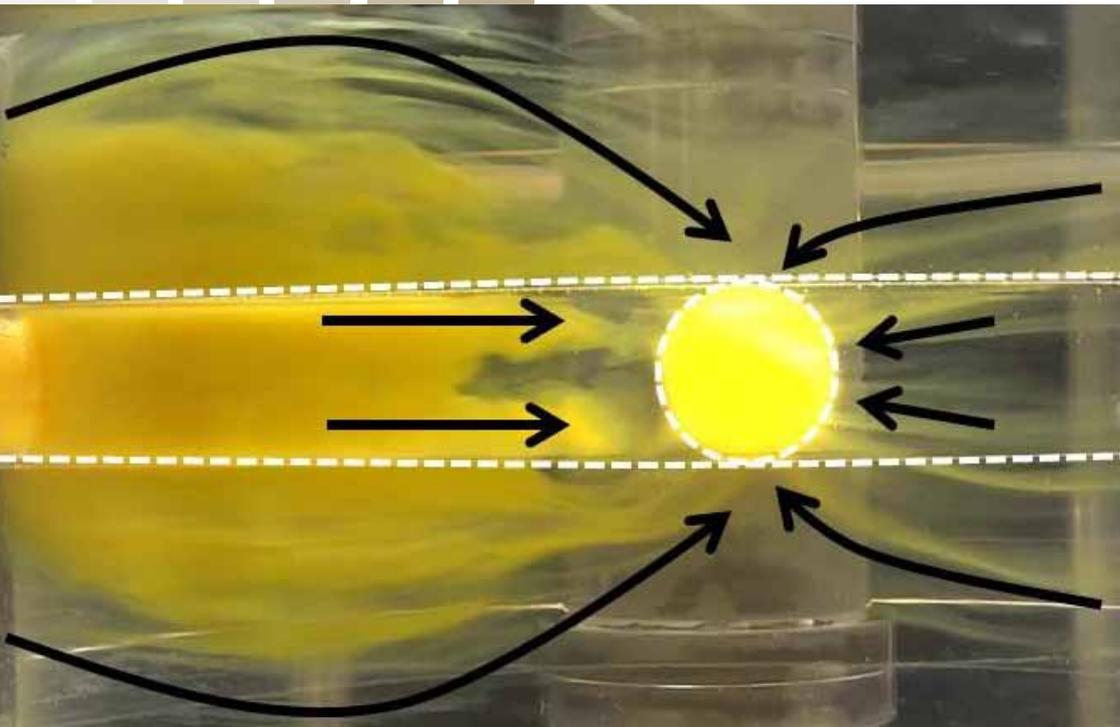


Experimentelle Untersuchung der Spaltströmung in einem Modell eines Kurbelwellenhauptlagers

Matthias Nobis



Experimentelle Untersuchung der Spaltströmung in einem Modell eines Kurbelwellenhauptlagers

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektro- und Energiesysteme
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus–Senftenberg
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

M.Sc. Dipl.-Ing.(FH)

Matthias Nobis

geboren am 05.01.1983 in Schlema / Sachsen

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. habil. Hon. Prof. (NUST) Dieter Bestle

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Christoph Egbers

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Adrian Rienäcker

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Peter Reinke

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Oktober 2017

Berichte aus dem Maschinenbau

Matthias Nobis

**Experimentelle Untersuchung der Spaltströmung
in einem Modell eines Kurbelwellenhauptlagers**

Shaker Verlag
Aachen 2018

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.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5706-5

ISSN 0945-0874

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

Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Christoph Egbers von der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) für die Betreuung meiner Arbeit und für die Eröffnung der Möglichkeit, am Lehrstuhl für Aerodynamik und Strömungslehre der BTU zu promovieren.

Besonders möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Reinke von der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim / Holzmin-den / Göttingen (HAWK) der Fakultät Naturwissenschaft und Technik bedanken. Er begleitete meinen beruflichen Werdegang über viele Jahre hinweg während seiner Tätigkeit an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) und stand auch nach seinem Wechsel an die HAWK stets mit wissenschaftlichem und methodischem Rat zur Seite.

Weiterhin möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Bestle vom Lehrstuhl für Technische Mechanik und Fahrzeugdynamik der BTU für die gute Zusammenarbeit während meines Promotionsstudiums und für die Übernahme des Vorsitzes im Prüfungsausschuss danken. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Adrian Rienäcker vom Lehrstuhl für Maschinenelemente und Tribologie der Universität Kassel bedanke ich mich für die Bereitschaft, als Gutachter für mein Promotionsvorhaben tätig zu sein.

Ein besonderer Dank geht auch an meine Kollegen Herrn Dr.-Ing. Marcus Schmidt von der HAWK, Herrn M.Sc. Marco Riedel und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Marcel Redlich von der WHZ für die Begleitung meiner experimentellen Untersuchungen mit numerischen Berechnungen, für die technische Unterstützung bei den Prüfstandsarbeiten und für die konstruktiven Diskussionen sowie lehrreichen Tipps, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die mir immer einen festen und unverzichtbaren Rückhalt gab. Ohne meine Eltern wäre der Weg von der Aufnahme eines Studiums bis hin zur Abgabe einer Doktorarbeit für mich nicht begehbar gewesen.

Kurzfassung

Experimentelle Untersuchung der Spaltströmung in einem Modell eines Kurbelwellenhauptlagers

Vor dem Hintergrund der noch nicht vollständig verstandenen Ursachen von Kavitationserscheinungen in Gleitlagern besteht die Notwendigkeit, eine genaue Kenntnis über die Strömungsvorgänge im engen Spalt zwischen Welle und Lagerschale zu erlangen. Die experimentellen Untersuchungen dieser Spaltströmung erfolgen in einem Lagermodell, dessen geometrische Eigenschaften aus den Abmessungen eines beispielhaften Kurbelwellenhauptlagers abgeleitet werden. Dabei wird auch die radiale Wellenverlagerung, wie sie in instationär belasteten Gleitlagern auftritt, in vereinfachter Form im Prüfstands Aufbau berücksichtigt. Mithilfe von Farbvisualisierungen wird die Komplexität dieses Strömungsproblems sichtbar und es können qualitative Aussagen getroffen werden. In Erweiterung dazu wird mit laseroptischen Geschwindigkeitsmessungen eine quantitative Bewertung ausgeführt. Die aufgenommen Messwerte werden je nach Möglichkeit mit Literaturdaten, analytisch berechneten Geschwindigkeitsverteilungen oder mit numerischen Berechnungsergebnissen verglichen. In weiterführenden Visualisierungsversuchen wird im Lagermodell unter Einsatz eines angepassten Fluids die Blasenentstehung für den speziellen Fall der Stoßkavitation aufgezeigt. Dabei wird die Abhängigkeit von zugeführtem Volumenstrom und eingestellter Drehzahl diskutiert. Die Arbeit hält eine breite Basis an experimentellen Untersuchungsergebnissen bereit und trägt zum Verständnis der Abläufe innerhalb der dreidimensionalen Schmier-spaltströmung bei.

Abstract

Experimental investigation of the flow in a model of a crankshaft main bearing

The present thesis deals with the experimental investigation of the flow inside the lubricating gap of journal bearings. Cavitation is one possible reason which can lead to a damage of the bearing. The causes of cavitation phenomena in journal bearings are still not completely understood. In this context there is a need to get an accurate knowledge about the three-dimensional flow processes in the small gap between the rotating shaft and the bearing liner. The experimental investigations of the flow inside the lubricating gap are carried out by means of a model experiment. Its geometrical properties are derived from the dimensions of a selected crankshaft main bearing. The radial shaft displacement which occurs in transient loaded journal bearings is also reproduced at the test rig in a simplified form. With the aid of colour visualizations, the complexity of this flow problem becomes visible and qualitative statements can be made. Additionally, a quantitative evaluation is carried out by laser-optical velocity measurements. The measuring values are compared with literature data, analytically calculated velocity distributions or with numerical calculation results. In particular, vapour generation and bubble formation are studied quantitatively for the case of the impact cavitation which is very common for crankshaft bearings. The experiments are carried out by means of a special fluid, a mixture of two components specifically tuned to accommodate the conditions of vaporization. In this context, the dependence on the supplied volumetric flow rate and the rotational speed is discussed. The scientific research provides a wide compilation of experimentally determined results and helps to understand the processes within the three-dimensional flow inside the lubricating gap.

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	III
1 Einleitung	1
2 Bisherige Untersuchungen im Schmierpalt von Gleitlagern	5
2.1 Druckverteilung im Schmierpalt	5
2.2 Einteilung der in Gleitlagern vorkommenden Kavitationsarten	7
2.3 Visualisierung der Kavitationsblasenentstehung in Gleitlagern	15
2.4 Einfluss von geometrischen Unstetigkeiten auf die Anwendbarkeit der Reynoldsschen Differentialgleichung	18
3 Ziele dieser Arbeit	20
4 Parameterdefinition	22
4.1 Geometrische Kenngrößen	22
4.2 Abschätzung des gleitlagerrelevanten Reynoldszahlenbereichs	25
5 Mathematische Betrachtung der Schmierpaltströmung	29
5.1 Grundgleichungen	29
5.2 Geschwindigkeitsverteilung in Axial- und Umfangsrichtung des Schmierpalt	29
5.3 Herleitung der Reynoldsschen Differentialgleichung	32
5.4 Herleitung einer zweidimensionalen Lösung für die Geschwindigkeitsverteilung der Umfangskomponente	34
5.4.1 Geschwindigkeitsverteilung in der Quetschströmung	34
5.4.2 Geschwindigkeitsverteilung in der Couette-Strömung	35
6 Voruntersuchungen am Taylor-Couette-System	38
6.1 Taylor-Couette-Apparat	38
6.2 Couette-Strömung	39
6.3 Taylor-Wirbel-Strömung	43
7 Prüfstands Aufbau	48
7.1 Ableitung des Gleitlagermodells	48
7.1.1 Mechanische Ähnlichkeit	50
7.1.2 Strömungsmechanische Ähnlichkeit	51
7.2 Ableitung der Wellenverlagerungsbahn	53
7.3 Mechanischer Aufbau	68
7.4 Verwendete Messtechnik	69

8	Untersuchungsergebnisse.....	71
8.1	Visualisierung der Blasenentstehung bei Stoßkavitation	71
8.2	Visualisierung der Schmierespaltströmung mit farbiger Flüssigkeit	84
8.3	Geschwindigkeitsmessungen mit laseroptischer Messtechnik	92
8.3.1	Couette-Strömung mit überlagertem Seitenfluss	92
8.3.2	Quetschströmung.....	97
8.3.3	Couette-Strömung mit überlagerter Quetschströmung	100
8.3.4	Gleitlagerströmung.....	104
8.3.4.1	Abströmung über die axialen Lagerenden.....	104
8.3.4.2	Abströmung über die radiale Auslassbohrung im Innenzylinder... ..	108
9	Zusammenfassung	115
10	Literaturverzeichnis.....	117