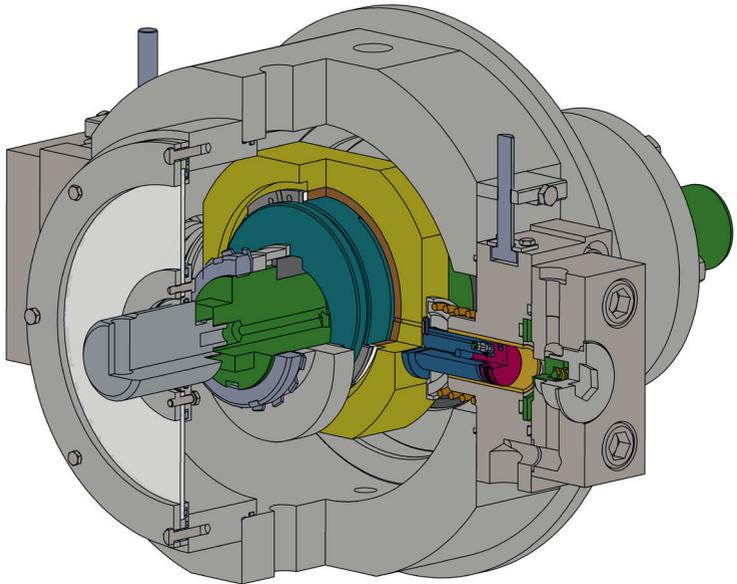


Florian Schoemacker

***Erweiterung der Einsatzgrenzen von
wasserhydraulischen Kolbenpumpen***



**ERWEITERUNG DER EINSATZGRENZEN VON
WASSERHYDRAULISCHEN KOLBENPUMPEN**

**INCREASING THE OPERATING RANGE OF
WATERHYDRAULIC PISTON PUMPS**

Von der Fakultät für Maschinenwesen der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Florian Schoemacker

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs

Tag der mündlichen Prüfung: 30. Oktober 2020

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Reihe Fluidtechnik

A / Band 104

Florian Schoemacker

**Erweiterung der Einsatzgrenzen
von wasserhydraulischen Kolbenpumpen**

Shaker Verlag
Düren 2020

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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2020)

Copyright Shaker Verlag 2020

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7743-8

ISSN 1437-8434

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Für Hartmut, Heinrich, Gerd und Bernd

Pumpen sind echte Komponenten,
für die Simulation sinnvoll ist
und Validierung Spaß macht.

— PUM

Leitspruch der letzten Pumper

VORWORT UND DANKSAGUNG

Die hier dokumentierte Entwicklung einer wasserhydraulischen Kolbenpumpe repräsentiert das wesentliche Ergebnis meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für fluidtechnische Antriebe und Systeme der RWTH Aachen University. Für die Motivation zu promovieren, danke ich Hr. Prof. Murrenhoff und für die Betreuung meiner Arbeit danke ich Fr. Prof. Schmitz. Für Übernahme des Koreferats gilt mein Dank Hr. Prof. Jacobs und für den Prüfungsvorsitz Hr. Prof. Bergs.

Für die Schaffung der Rahmenbedingungen des Projekts „wasserhydraulische Kolbenpumpe“ danke ich der Fa. Hauhinc Maschinenfabrik und für den konstruktiven Austausch Hr. Dirk Schulze Schencking.

Für den regen wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Austausch sowie für die vielen DABs danke ich den Herren Tobias Mielke, Philipp Kratschun, Felix Fischer, Markus Gärtner, Stephan Wegner, Marcel Rückert, Max Waerder, und Matthias Hirtz.

Entscheidend für die einmalige Arbeitsatmosphäre am ifas war das Büro-Kollegium. Daher gilt mein Dank den Bürokollegen und den schwankenden Gestalten im Dunstkreis des legendären Büro 062: Tobias Pietrzyk, Seong-Ryeol Lee, Tobias Vonderbank, Christian Reese, Sebastian Deuster und Stefan Geffroy.

Seitens der Forschungsstelle ist die Durchführung eines solchen Projekts nicht allein durch den wissenschaftlichen Mitarbeiter möglich, sondern nur mit der tatkräftigen Unterstützung von findigen studentischen Mitarbeitern. An dieser Stelle möchte ich den folgenden Herren danken: Benedikt Kössendrup, Felix Wünsche, Vincent Gutsfeld und Yannic Willkomm.

Abschließend danke ich meinen Eltern für die Unterstützung im Studium. Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Steffi: Ohne dich wäre das alles nicht möglich gewesen.

Pfaffenhofen, November 2020

Florian Schoemacker

ZUSAMMENFASSUNG

Kompakte wasserhydraulische Kolbenpumpen sind nach dem Stand der Technik als selbstgeschmierte Maschinen ausgeführt, deren zulässiger Druckbereich 210 bar aufgrund der hohen Lasten in den tribologischen Kontakten in der Praxis nicht übersteigt. Für Hochdruckanwendungen werden hingegen Plungerpumpen verwendet, deren Bauraumbedarf um eine Größenordnung über dem Bedarf von selbstgeschmierten Pumpen liegt. Daher gilt es die Lücke zu schließen und für die Wasserhydraulik kompakte Pumpen für Hochdruck zu entwickeln.

Um den Druckbereich von selbstgeschmierten wasserhydraulischen Kolbenpumpen abschätzen zu können und den Kontakt zwischen Kolbengleitschuh und Schrägscheibe der Auslegung zugänglich zu machen, wird ein Simulationsmodell zur Berechnung des Drucks im Schmiermedium anhand der Reynolds-Gleichung aufgebaut. Dieses Modell wird mit der Berechnung der Deformation der elastischen Gegenkörper kombiniert. Damit eignet sich das Modell zur Simulation von Gleitpartnern aus Kunststoff, die in der Wasserhydraulik üblich sind.

Weiterhin wird eine Radialkolbenmaschine mit innovativer Medientrennung entwickelt. Dazu wird zunächst ein geeignetes Triebwerk ausgelegt. Zur Abgrenzung der Medientrennung werden Möglichkeiten nach dem Stand der Technik aufgezeigt und die innovative Medientrennung vorgestellt. Diese wird für die Pumpe im Rahmen der Simulation untersucht und aus den Erkenntnissen ein Funktionsmuster abgeleitet.

Zur Erprobung des Funktionsmusters wird ein Komponentenprüfstand aufgebaut und die Medientrennung messtechnisch zugänglich gemacht. Die Ergebnisse fließen in ein Redesign des innovativen Funktionsprinzips ein.

ABSTRACT

State of the art water hydraulic piston pumps are lubricated with the pressure fluid and therefore the pressure level is limited to 210 bar due to the high load of the tribological contacts. For high pressure water hydraulic applications, plunger pumps are commonly used, which require a much greater installation space. These two examples show that there is a potential for the development of efficient, compact water hydraulic piston pumps.

A simulation model has been developed for the tribological contact of the piston slipper and the swash plate of an axial piston pump, which is based on the Reynold's equation. The model is combined with an elastic deformation calculation of the sliding surfaces. Within the simulation tribological contacts of metallic and plastic materials can be investigated. Plastic materials are often used in water hydraulics.

Furthermore, a radial piston machine with an innovative separation of pressure and lubrication fluid has been developed. This includes the choice of a suitable pump design and the separation itself. Therefore state of the art types of media separation are stated and a new principle is derived. The function is investigated using simulation models and from the results a prototype for experiments is designed.

In order to experimentally validate the function of the media separation a test bench has been built at the ifas laboratory. The results are used for a redesign and the development of a fully functional prototype.

INHALT

1	EINLEITUNG UND MOTIVATION	1
1.1	Anwendungsfelder für die Wasserhydraulik	2
1.2	Zielsetzung und Vorgehen	3
2	STAND DER TECHNIK	5
2.1	Serienmaschinen	5
2.1.1	Plungerpumpe	5
2.1.2	Schrägscheibenpumpe	6
2.1.3	Innen abgestützte Radialkolbenpumpe	7
2.1.4	Außen abgestützte Radialkolbenpumpe	9
2.2	Stand der Forschung	11
2.2.1	Untersuchungen von Teilsystemen	11
2.2.2	Konzepte wasserhydraulischer Kolbenpumpen	14
2.2.3	Forschung nach innovativen Druckmedien	16
3	TRIBOLOGISCHE UNTERSUCHUNG VON WASSERHYDRAULISCHEN KOLBENPUMPEN	17
3.1	Beständigkeit der Flüssigkeit	17
3.2	Betrieb hydraulischer Kolbenpumpen mit Wasser	18
3.2.1	Druckaufbau	18
3.2.2	Druckverluste	20
3.2.3	Leckagen	22
3.2.4	Kavitation	22
3.3	Simulation der Schmierung mit Wasser	24
3.3.1	Grundsätzliche Schmierfähigkeit	25
3.3.2	Geometrie des Gleitschuh-Schrägscheiben-Kontakts	29
3.3.3	Reynolds'sche-Gleichung	32
3.3.4	Diskretisierung der Reynolds-Gleichung	33
3.3.5	Modell für den Kontaktdruck der Rauigkeitsspitzen	36
3.3.6	Simulative Untersuchung der Spalthöhen bei Wasserschmierung	39
3.4	Bewertung	48
4	ENTWICKLUNG EINER WASSERHYDRAULISCHEN KOLBENPUMPE MIT NEUARTIGER MEDIENTRENNUNG	49
4.1	Entwicklung des Pumpenkonzepts	49
4.1.1	Anforderungen und Funktionsstruktur	49

4.1.2	Wirkprinzipien und Konzept.....	51
4.2	Entwicklung des Triebwerks.....	54
4.2.1	Triebwerksvarianten	54
4.2.2	Dimensionierung des Triebwerks	56
4.2.3	Stabilität des Triebwerks gegenüber Kippen im Betrieb	66
4.3	Entwicklung einer neuartigen Medientrennung	76
4.3.1	Konzepte nach dem Stand der Technik.....	76
4.3.2	Innovatives Konzept der Medientrennung	87
4.4	Simulative Untersuchung der innovativen Medientrennung	94
4.4.1	Modellierung der Kolbenbaugruppe	94
4.4.2	Simulation des dynamischen Druckaufbaus und des Bewegungsverhaltens	96
4.4.3	Einflussgrößen	99
4.4.4	Fazit	104
5	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG	105
5.1	Funktionsprüfstand zur Erprobung der Medientrennung	105
5.1.1	Konstruktion der Prüfpumpe.....	105
5.1.2	Prüfstands Aufbau und Messkonzept.....	107
5.2	Validierung der Funktion des Druckverstärkerkolbens	114
5.2.1	Messung mit mechanischer Umsteuerung	114
5.2.2	Messungen mit druckbetätigter Umsteuerung	119
6	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	123
7	LITERATURVERZEICHNIS	127