

Bewertung und Optimierung von Getriebekonzepten für mobile Arbeitsmaschinen

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von Steffen Mutschler
aus Hannover

eingereicht am: 08.08.2008

mündliche Prüfung am: 16.12.2008

Referenten:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms

Prof. Dr. Th. Spengler

Dr.-Ing. J. Winkelhake

Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und
Fluidtechnik

Steffen Mutschler

**Bewertung und Optimierung von Getriebekonzepten
für mobile Arbeitsmaschinen**

Shaker Verlag
Aachen 2009

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.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2008

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8355-1

ISSN 1616-1912

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

Diese Arbeit ist während meiner Doktorandenzeit bei Bosch Rexroth in Elchingen entstanden. Sie ist geprägt durch ein bewegtes Umfeld in der Antriebsentwicklung für mobile Arbeitsmaschinen, die durch die steigenden Kraftstoffpreise stark forciert wird. In diesem Rahmen ist eine Aufgabenstellung entstanden, die sowohl für die Bosch Rexroth AG als Antriebstechnik-Spezialist, als auch für das Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig aus wissenschaftlicher Sicht von großem Interesse ist.

Für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms, der die Arbeit mit viel Interesse begleitet und unterstützt hat. Auch Herr Prof. Dr. Th. Spengler stand als Zweitberichterstatter von Anfang an für Diskussionen zur Verfügung und war damit eine wertvolle Unterstützung im Bereich der wirtschaftlichen Betrachtungen.

Mein Dank gilt Herrn Dr. M. G. Kliffken für den persönlichen Einsatz, die Arbeit bei Bosch Rexroth zu ermöglichen, und das mir entgegengebrachte Vertrauen. Insbesondere danke ich Herrn Dr. S. Stoll und Herrn Dr. J. Winkelhake für die fachliche und auch persönliche Betreuung.

Wegen grundsätzlich verschiedener Zielsetzungen von Industrie und Universitäten ist es bekannterweise schwierig, im Rahmen einer mehrjährigen Arbeit im Unternehmen beide Seiten zufrieden zu stellen. Aus diesem Grund möchte ich meinen Vorgesetzten und Kollegen bei Bosch Rexroth dafür danken, dass sie einerseits auf meine Unterstützung in laufenden Entwicklungsprojekten gesetzt haben, mir gleichzeitig aber auch viel Freiraum für das wissenschaftliche Arbeiten gelassen haben.

Steffen Mutschler

Neu-Ulm, 23. Juni 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung	2
2	Stand der Technik	3
2.1	Mechanisch-hydrostatische Getriebe	3
2.2	Bewertungsverfahren	20
2.3	Bewertungskriterien für Getriebe	23
2.4	Untersuchungen zur Bewertung und Optimierung von Fahrzeugantrieben	24
2.5	Ansätze der Wirtschaftlichkeitsrechnung	28
2.6	Betriebskosten	29
2.7	Selbstkosten in der industriellen Produktion	34
2.8	Herstellkostenschätzung	38
2.9	Statistik	48
3	Bewertung und Optimierung	57
3.1	Bewertungsmethodik	57
3.2	Ausgangssituation	58
3.3	Methodik	58
3.4	Optimierungsansätze	60
3.5	Mathematische Optimierung	61
3.6	Optimierung der Getriebestruktur	62
3.7	Optimierung der Ansteuerung hydrostatischer Antriebe	67
3.8	Strategie Dieselmotorbetrieb	71
4	Kostenschätzung	73
4.1	Datenauswertung	74
4.2	Aufbereitung der Daten für die Erstellung des statistischen Modells	75
4.3	Erstellen der Verteilungsdichtefunktion für ein Bauteil	78
4.4	Für die Modellierung geeignete Verteilungen	78
4.5	Parameterschätzung für die Verteilungsfunktion	80

4.6	Auswahl der optimalen Verteilungsdichtefunktion	81
4.7	Ansätze bei fehlendem Zusammenhang zwischen Kosten und Funktion	84
4.8	Montagekostenmodellierung	86
4.9	Ergebnis, Gesamtherstellkosten	86
4.10	Kostenschätzung am Beispiel eines Radnabengetriebes	87
4.11	Möglichkeiten und Grenzen der statistischen Kostenmodelle	89
4.12	Fehlerquellen	90
5	Methoden zur Schätzung des Verbrauchs und der Umschlagleistung	95
5.1	Zielsetzung	95
5.2	Aufnahme von statischen Wirkungsgradkennlinien	95
5.3	Simulation von Fahrzyklen	99
5.4	Modellbildung	114
6	Beispiel einer Getriebeoptimierung	121
6.1	Optimierung des Getriebes	122
6.2	Kostenschätzung	127
6.3	Technische Evaluierung	129
6.4	Weiteres Optimierungspotential und Zusammenfassung des Beispiels	132
7	Zusammenfassung und Ausblick	135
A	Verteilungen und ihre Kenngrößen	137
A.1	Die Lognormalverteilung	137
A.2	Die Betaverteilung	138
A.3	Die allgemeine Extremwertverteilung	140
	Literaturverzeichnis	141