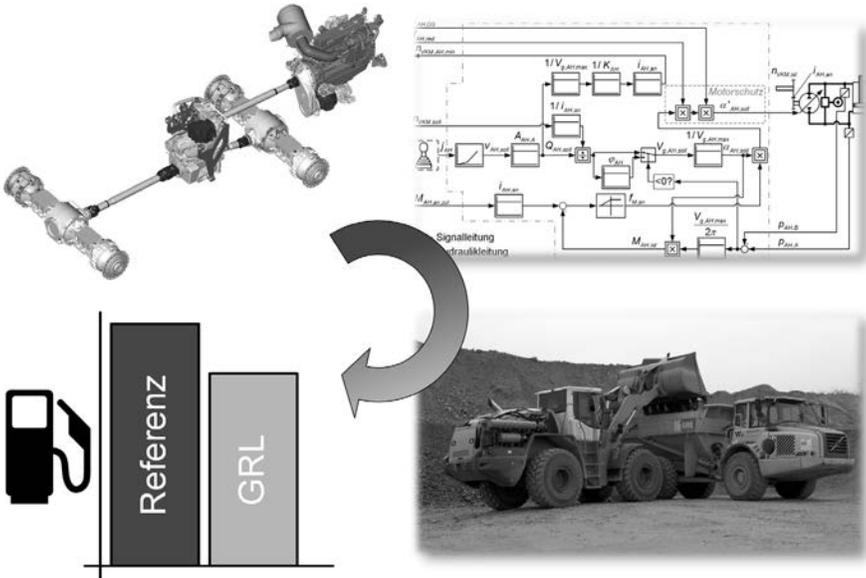




Markus Schneider

Effizienzsteigerung mobiler Arbeitsmaschinen durch vollvariable, 4-quadrantenfähige Antriebe und eine bedienerentkoppelte Betriebsstrategie



Effizienzsteigerung mobiler Arbeitsmaschinen durch vollvariable, 4-quadrantenfähige Antriebe und eine bedienerentkoppelte Betriebsstrategie

An der Fakultät Maschinenwesen
der Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)
angenommene Dissertation

Dipl.-Ing. Markus Schneider
geb. am 18. November 1983 in Bautzen

Tag der Einreichung: 31. März 2017
Tag der Verteidigung: 25. September 2017

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. J. Weber
Prof. Dr.-Ing. habil. T. Herlitzius

Prof. Dr.-Ing. habil. T. Schmidt
Vorsitzender der Prüfungskommission

Fluidmechatronische Systeme

Markus Schneider

**Effizienzsteigerung mobiler Arbeitsmaschinen durch
vollvariable, 4-quadrantenfähige Antriebe und eine
bedienerentkoppelte Betriebsstrategie**

Shaker Verlag
Aachen 2017

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.: Dresden, Techn. Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5670-9

ISSN 2196-2340

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.1	Kategorisierung mobiler Arbeitsmaschinen	3
2.2	Radlader	3
2.2.1	Aufbau und Historie	3
2.2.2	Betriebsverhalten	5
2.2.3	Antriebskonfiguration	6
2.2.4	Ansteuerung und Betriebsstrategie	6
2.3	Fahrtrieb	8
2.3.1	Allgemeine Grundlagen	8
2.3.2	Hydrodynamische Fahrtriebe	9
2.3.3	Hydrostatische Fahrtriebe	13
2.3.4	Leistungsverzweigte Fahrtriebe	18
2.4	Arbeitshydraulik	23
2.4.1	Allgemeine Grundlagen	23
2.4.2	Konventionelle ventilsteuerte Systeme	25
2.4.3	Systeme mit getrennten Steuerkanten	31
2.4.4	Verdrängergesteuerte Systeme	32
2.5	Dieselmotoren	35
2.6	Hybridkonzepte	40
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	45
4	Entwicklung des Antriebssystems	48
4.1	Antriebssystem minimaler Kompromisse	48
4.1.1	Struktur	49
4.1.2	Dimensionierung	50
4.2	Antriebssystem des <i>Grünen Radladers</i>	59
4.2.1	Struktur	60
4.2.2	Dimensionierung	61
4.3	Struktur des Steuerungs- und Kommunikationssystems	68
5	Steuerungsentwicklung	70
5.1	Gesamtbetriebsstrategie	70
5.2	Algorithmen zur Ansteuerung des Fahrtriebs	72
5.3	Algorithmen zur Ansteuerung der Arbeitshydraulik	77
5.4	Ansteuerung Dieselmotor	78
5.5	Algorithmen des Leistungsmanagements	80

5.6	Ansteuerung Hybridmodul	83
6	Modellbildung	87
6.1	Allgemeine Struktur der Gesamtmaschinenmodelle	87
6.2	Referenzsystem	88
6.3	Fahrtrieb	89
6.3.1	Fahrwerk und Fahrwiderstände	89
6.3.2	Leistungsverzweigungsgetriebe	90
6.3.3	Wandlergetriebe	92
6.4	Arbeitshydraulik	93
6.4.1	Ausrüstungskinematik	93
6.4.2	Verdrängersteuerung	94
6.4.3	Load-Sensing-System	97
6.5	Dieselmotor	100
6.6	Hybridmodul	103
6.7	Peripherie	104
6.7.1	Nebenverbraucher	104
6.7.2	Lenkhydraulik	104
7	Verifikation der Simulationsmodelle	105
7.1	Aufbau des Verspannprüfstands	105
7.2	Fahrtrieb	106
7.3	Arbeitshydraulik	110
7.4	Dieselmotor	113
8	Simulationsstudien	115
8.1	Nachweis der Funktionalität der Betriebsstrategie	115
8.2	Grenzen der Drehzahlabenkung	121
8.2.1	Dieselmotor	121
8.2.2	Fahrtrieb	123
8.2.3	Arbeitshydraulik	128
8.2.4	Fazit	128
8.3	Analyse des Kraftstoffeffizienzpotentials	129
8.3.1	Betrachtete Zyklen	129
8.3.2	Kurzes Ladespiel	130
8.3.3	Langes Ladespiel	137
8.4	Einsatzpotential des Hybridsystems	140
9	Erprobung des Demonstrators	143
9.1	Abstimmung und funktionale Erprobung	143

9.2	Vergleichsfahrten zur Ermittlung des Kraftstoffeinsparpotentials	146
9.3	Zusammenfassung und Bewertung	151
10	Zusammenfassung	153
11	Literaturverzeichnis	156
12	Eigene Publikationen	179
A	Anhang	180
A.1	Kennwerte von Verdrängereinheiten	180
A.2	Arbeitshydraulik - Modellierung des energetischen und dynamischen Verhaltens einer Verdrängereinheit	181
A.3	Arbeitshydraulik - Parametrierung der Ventilsteuerkanten des Load-Sensing-Systems	183
A.3.1	Hubfunktion	183
A.3.2	Kippfunktion	186
A.4	Messtechnische Ausstattung des <i>Grünen Radladers</i>	187
A.4.1	Dieselmotor	188
A.4.2	Fahrtrieb	188
A.4.3	Arbeitshydraulik	188
A.4.4	Hybridmodul	189
A.4.5	Peripherie	190
B	Bildnachweis	191