

Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer Zugarbeit

Von der Gemeinsamen Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Ing. Jörg Seeger
aus Braunschweig

Eingereicht am:	23.04.2001
Mündliche Prüfung am:	15.10.2001
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms
Mitberichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay

Forschungsberichte des Instituts für
Landmaschinen und Fluidtechnik

Jörg Seeger

**Antriebsstrangstrategien eines Traktors
bei schwerer Zugarbeit**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Seeger, Jörg:

Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer Zugarbeit/ Jörg Seeger.

Aachen: Shaker, 2001

(Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik)

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-9603-X

Copyright Shaker Verlag 2001

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9603-X

ISSN 1616-1912

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig.

Zunächst möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Frau bedanken, die mich während der gesamten Promotionszeit in vielfältiger Weise unterstützt hat. Sie hat auf viele gemeinsame Stunden verzichtet und mir damit die Zeit gegeben diese Arbeit anzufertigen.

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Harms, dem Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, der mir als Doktorvater die Möglichkeit zur Promotion eröffnet hat. Er vertraute mir unter seiner Leitung die Bearbeitung des Forschungsprojektes „Traktormanagementsysteme“ an, womit der Grundstein dieser Arbeit gelegt wurde. Durch dieses sehr umfangreiche und interessante Projekt hatte ich die Gelegenheit mich in viele neue Aufgaben- und Forschungsgebiete einzuarbeiten. Hierdurch ergaben sich für mich auch wertvolle Kontakte zu anderen Forschungseinrichtungen und zu namhaften Industriebetrieben aus der Land- und Fluidtechnik. Ich danke ihm sowohl für die fachliche Unterstützung und konstruktive Kritik, als auch für die Freiräume, die ich bei der Durchführung des Forschungsprojektes nutzen konnte.

Weiterhin danke ich Herrn Professor Küçükay, der als Mitberichter die Durchsicht der Arbeit übernommen und wertvolle Anregungen gegeben hat.

Bei Herrn Professor Matthies möchte ich mich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission bedanken.

Des weiteren möchte ich mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die ebenfalls einen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben:

- allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, die mich besonders bei der Konstruktion, Planung und dem Aufbau des Versuchstandes unterstützt haben und den wissenschaftlichen Mitarbeitern für die vielen interessanten und konstruktiven Gespräche, die Hilfsbereitschaft und das freundschaftliche Miteinander,
- den Studierenden, die mich durch ihre Studien- und Diplomarbeiten oder als wissenschaftliche Hilfskräfte tatkräftig unterstützt haben,
- der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Förderung des Projektes,
- den Firmen Claas, Deutz und Bosch, die den Aufbau des Versuchstandes durch großzügige Sachspenden überhaupt erst ermöglicht haben. Wobei der Firma Claas ein besonderer Dank gebührt, da sie außerdem das Versuchsfahrzeug zur Verfügung stellte und mir bei der Durchführung der Feldversuche eine sehr große Hilfe war.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung der Arbeit	2
2	Stand der Technik	3
2.1	Traktormotoren	3
2.1.1	Geräuschverhalten	4
2.1.2	Abgasemissionen	5
2.1.3	Einspritzsysteme	7
2.2	Stufenlose Getriebe	13
2.2.1	Entwicklung stufenloser hydrostatischer Getriebe	15
2.2.2	Das Prinzip der hydrostatisch-mechanischen Leistungsverzweigung	20
2.2.3	Bauarten hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigter Getriebe	21
3	Traktormanagementversuchsstand	28
3.1	Dieselmotor	30
3.2	Getriebe	32
3.3	Belastungseinheiten	36
3.4	Arbeitshydraulik	38
4	Entwicklung des Simulationsmodells	39
4.1	Modellierung des Motors	40
4.2	Modellierung des Getriebes	42
4.2.1	Die Verstelleinrichtung	43
4.2.2	Massenträgheit und Wirkungsgrad	45
4.3	Modellierung des Systems Traktor-Pflug-Boden	47
4.3.1	Kräfte am Rad	47
4.3.2	Kräfte am Traktor	48
4.3.3	Reifenkennlinien	49
4.3.4	Pflugwiderstände	53

5 Entwicklung der Antriebsstrangstrategien.....	60
5.1 Kennlinien des Dieselmotors.....	60
5.2 Kennlinien des stufenlosen Getriebes	65
5.3 Kennlinien einer Traktor-Pflug-Kombination	74
5.4 Leistungsregler.....	78
5.5 Stufengetriebe und stufenloses Getriebe im Vergleich.....	92
5.6 Einfluss der Motorcharakteristik	95
5.7 Strategie beim Erreichen einer festgelegten Maximalgeschwindigkeit	99
6 Feldversuche.....	106
6.1 Versuchsfahrzeug	106
6.2 Durchführung und Auswertung der Feldversuche	109
6.2.1 Einfluss der Motordrehzahl.....	109
6.2.2 Vorteile der Leistungsregelung	113
6.2.3 Variation der Feldversuche am Simulationsmodell.....	117
6.2.4 Feldendemanagement.....	121
7 Beurteilung der Ergebnisse und Aussagen für die Praxis.....	124
8 Zusammenfassung	128
9 Literaturverzeichnis	130

Formelzeichen

Variable	Benennung	Einheit
φ	Drehwinkel	rad
$\dot{\varphi}$	Drehgeschwindigkeit	rad/s
$\ddot{\varphi}$	Drehbeschleunigung	rad/s ²
σ	Triebbradsschlupf	-
ρ	Rollwiderstandsbeiwert	-
χ	Triebkraftbeiwert	-
μ	Umfangskraftbeiwert	-
η_T	Traktorwirkungsgrad	-
η_G	Getriebewirkungsgrad	-
χ_{HB}	Triebkraftbeiwert Hauptbodenzustand	-
χ_{NB}	Triebkraftbeiwert Nebenbodenzustand	-
μ_{BZ}	Gewichtungsfaktor Bodenzustand	-
μ_{BA}	Gewichtungsfaktor Bodenart	-
ΔI_G	Getriebesollübersetzungsdifferenz	-
Δn_{Dr}	Drückungssolldrehzahldifferenz	min ⁻¹
Δn_M	Motorsolldrehzahldifferenz	min ⁻¹
ρ_{Kr}	Kraftstoffdichte	kg/m ³
λ	Luftverhältniszahl	-
be	spezifischer Kraftstoffverbrauch	g/kWh
be_{Fl}	Flächenverbrauch	l/h
be_{Ges}	spezifischer Kraftstoffgesamtverbrauch	g/kWh
be_{Motor}	spezifischer Kraftstoffverbrauch des Motors	g/kWh
b_p	Arbeitsbreite des Pfluges	m
c_F	Federkonstante	N/m
D	Dämpfungskonstante	kg/s
f	Hebelarm der Rollreibung	m
F	Kraft	N
F_B	Bodenkraft	N
F_{GPT}	Gewichtskraft des Pfluges, die auf den Traktor übertragen wird	N
F_{GT}	Gewichtskraft des Traktors	N
F_{PGes}	gesamte Pflugwiderstandskraft	N
F_{Psp}	spezifische Pflugwiderstandskraft	N/m ²
F_R	Rollwiderstandskraft	N

F_{Rad}	Radlast	N
F_{T}	Triebkraft	N
F_{U}	Radumfangskraft	N
F_{VP}	Vertikalkraft beim Pflügen	N
F_{Z}	Zugkraft des Arbeitsgerätes	N
i_{Soll}	Getriebesollübersetzung	-
I_{G}	Getriebeübersetzung	-
I_{GS}	Getriebesollübersetzung	-
K_{D}	D-Anteil des Leistungsreglers	s
K_{I}	I-Anteil des Leistungsreglers	s^{-1}
K_{P}	P-Anteil des Leistungsreglers	-
K_{tpHB}	Korrekturwert Hauptbodenart	-
K_{tpNB}	Korrekturwert Nebenbodenart	-
m	Masse	kg
M_{A}	Antriebsmoment	Nm
m_{e}	Einspritzmenge	mm^3
M_{GA}	Getriebeausgangsmoment	Nm
M_{L}	Lastmoment des Getriebes (Getriebeausgangsmoment)	Nm
M_{M}	Motormoment (Lastmoment des Motors)	Nm
m_{T}	Traktormasse	kg
n_{DrS}	Drückungssolldrehzahl	min^{-1}
n_{M}	Motordrehzahl	min^{-1}
n_{MS}	Motorsolldrehzahl	min^{-1}
$n_{\text{W1..nW12}}$	Drehzahlen der Getriebewellen 1-12	min^{-1}
P_{Fl}	Flächenleistung	ha/h
P_{M}	Motorleistung	kW
P_{Z}	Zugleistung	kW
Q_{Kr}	absoluter Kraftstoffverbrauch	l/h
r_0	Rollradius	m
t	Zeit	s
t_{p}	Arbeitstiefe des Pfluges	m
U_{R}	Spannung Regelstangenaktuator	V
U_{V}	Ventilspannung	V
v_{r}	reale Fahrgeschwindigkeit	m/s
v_{th}	theoretische Fahrgeschwindigkeit	m/s
x_{S}	Position des Stellzylinder	m
y_{S}	Position des Ventilschieber	m