



Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Vergleichende Untersuchungen an hydraulischen und elektrischen Achsantrieben für mobile Arbeitsmaschinen unter Berücksichtigung betriebstypischer Einsatzbedingungen

Markus Georg Konrad Heckmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. J. Sauer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. H. Bernhardt
2. Univ.-Prof. Dr. Th. Herlitzius, Technische Universität Dresden (nur schriftliche Beurteilung)
3. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer (i.R.)

Die Dissertation wurde am 09.04.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 03.02.2016 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XXII
Verzeichnis der lateinischen Formelzeichen und Indizes	XXV
Verzeichnis der griechischen Formelzeichen	XXVII
1 Aktuelle Entwicklungstendenzen in der Landtechnik	1
2 Leistungsübertragung in Land- und mobilen Arbeitsmaschinen	3
2.1 Funktions- und Baugruppenantriebe	4
2.1.1 Gekoppelte Antriebe mit konstantem Übersetzungsverhältnis	5
2.1.2 Drehzahlgestufte Antriebe	8
2.1.3 Stufenlose Antriebe	8
2.2 Fahrtriebe	19
2.2.1 Gestufte Zahnradgetriebe	19
2.2.2 Stufenlose Fahrtriebe in Traktoren und selbstfahrenden Arbeitsmaschinen	22
2.3 Vergleichende Untersuchungen von Antriebssystemen in Landmaschinen	32
2.3.1 Traktoren einschließlich ihrer Geräte	32
2.3.2 Selbstfahrende Arbeitsmaschinen	38
2.4 Nutzungsgrad als Bewertungsparameter für Antriebssysteme	43
3 Elektrischer Achsantrieb zur Systemverbesserung und dessen kritische Bewertung im Vergleich zum Serienfahrtrieb	45
4 Material und Methode für die Fahrtriebsstrangbewertung	47
4.1 Bewertungsparameter für Fahrtriebssysteme in landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen	47
4.2 Hydraulisches Serienfahrtriebssystem	50
4.3 Ermittlung von betriebstypischen Lastdaten am Fahrtrieb im Feld	53
4.3.1 Messmethodik und verwendete Messtechnik	54

4.3.2	Feldversuche zur Lastdatengewinnung	56
4.4	Simulation der Belastungsdaten	57
4.4.1	Grundlegende Felddatenaufbereitung und Klassifizierung	58
4.4.2	Matrizen für Geschwindigkeit und Drehmoment und deren zugehörige Gradienten	60
4.4.3	Generierung und Darstellung der Prüfzyklen	63
4.4.4	Notwendige Adaption für den elektrischen Prüfstandsversuch	68
4.5	Prototyp dieselektrisch angetriebene Hinterräder	68
4.5.1	Elektrische Komponenten zur Leistungsübertragung	69
4.5.2	Peripheriesysteme im elektrischen Hinterachsfahrantrieb	72
4.5.3	Steuerung und Regelung des elektrischen Systems	72
4.6	Betriebsverhalten der Prototypbaugruppe im Feld	73
4.7	Prüfstandsuntersuchungen zur Wirkungsgradbestimmung	74
4.7.1	Prüfstands Aufbau	75
4.7.2	Durchführung der Prüfstandsversuche	83
4.7.3	Auswertung und Datenweiterverarbeitung der Prüfstandsversuche	86
4.8	Ermittlung des Nutzungsgrades bei bestimmten Rahmenbedingungen	96
4.8.1	Nutzungsgrad der hydrostatischen Serienantriebsachse	96
4.8.2	Nutzungsgrad des elektrischen Prototyps	99
4.9	Normierung des Wirkungs- oder Nutzungsgrades	100
5	Ergebnisse	103
5.1	Lastkollektive und Betriebsverhalten aus Feldversuchen	103
5.1.1	Betriebsverhalten der Serienlösung	103
5.1.2	Betriebsverhalten des Prototyps mit elektrischem Hinterachs Antrieb	105
5.2	Validierung der simulierten Lastzyklen	106
5.3	Prüfstand und Reproduzierbarkeit der Prüfzyklen	110
5.3.1	Hydraulischer Achsantrieb	111
5.3.2	Elektrischer Achsantrieb	112
5.4	Übertragungsverhalten des hydrostatischen Serienhinterachsfahrantriebes	115
5.4.1	Wirkungsgradvergleich deskriptive Statistik mit multipler Regression	115
5.4.2	Wirkungsgradverhalten des hydrostatischen Serienhinterachsfahrantriebes	118
5.4.3	Nutzungsgrad der Baugruppe bei betriebstypischen Einsatzbedingungen	129
5.5	Übertragungsverhalten des Prototyps elektrischer Hinterachsfahrantrieb	132
5.5.1	Wirkungsgradvergleich deskriptive Statistik mit multipler Regression	132
5.5.2	Wirkungsgradverhalten des Prototyps elektrischer Hinterachsfahrantrieb	135
5.5.3	Nutzungsgrad der Baugruppe bei betriebstypischen Einsatzbedingungen	144
5.6	Steuer- und Regelbarkeit	147
5.7	Gegenüberstellung Bauraum und Gewicht	149

5.8	Kosten im Vergleich	151
6	Diskussion	155
6.1	Datengewinnung zur Darstellung von Lastkollektiven	155
6.2	Der Prüfstand als zentrales Element des Systemvergleichs	156
6.2.1	Prüfstandsregelung	156
6.2.2	Prüfung auf grundsätzliche Vergleichbarkeit der Prüfstandsversuche mit beiden Antrieben	157
6.3	Die Fehlerrechnung unter besonderer Berücksichtigung der zugrunde liegenden Rahmenbedingungen	158
6.4	Wirkungsgrade für das hydraulische und elektrische Hinterachs Antriebssystem	160
6.4.1	Hydraulisches Hinterachs Antriebssystem	160
6.4.2	Elektrisches Hinterachs Antriebssystem	163
6.4.3	Vergleich der Wirkungsgrade für das hydraulische und elektrische Hin- terachs Antriebssystem	167
6.5	Nutzungsgradunterschiede und deren Ursache	172
6.6	Folgen unterschiedlicher Gewichte und Bauraumansprüche, insbesondere unter Berücksichtigung des Maschinenkonzeptes und der Kosten	176
6.7	Ausblick	179
7	Zusammenfassung	183
	Summary	187
	Literaturverzeichnis	191
	Anhang	211

