

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Vergleichende Untersuchungen an hydraulischen und elektrischen
Baugruppenantrieben für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen

Michael Gallmeier

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

Doktor Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

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

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. H. Auernhammer, i.R.
2. Univ.-Prof. Dr. B.-R. Höhn
3. Univ.-Prof. Dr. G. Bernhardt, i.R.
Technische Universität Dresden
(schriftliche Beurteilung)

Die Dissertation wurde am 22.12.2008 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 27.04.2009 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

1	RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE KÜNFTIGE ENTWICKLUNG LANDWIRTSCHAFTLICHER ARBEITSMASCHINEN	1
2	PROBLEM UND ZIEL.....	4
3	ANTRIEBSSTRUKTUREN IN SELBSTFAHRENDEN ARBEITSMASCHINEN.....	6
3.1	Anforderungen an Antriebssysteme landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen.....	8
3.1.1	Energieträger - Kraftstoffe	9
3.1.2	Primärenergiewandler - Kraftmaschinen.....	11
3.1.3	Hybride Antriebsstrukturen.....	17
3.1.4	Anforderungen an die Antriebstechnik von Baugruppen.....	20
3.1.5	Fahrzeug- und Triebstrangregelsysteme landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen.....	25
3.2	Leistungsübertragung in mobilen Arbeitsmaschinen	26
3.2.1	Mechanische Leistungsübertragung	26
3.2.2	Hydraulische Leistungsübertragung.....	29
3.2.3	Elektrische Leistungsübertragung	35
3.2.4	Leistungsverzweigte Ansätze	43
3.2.5	Leistungsübertragungssysteme für Baugruppenantriebe im Vergleich.....	45
4	MATERIAL UND METHODE FÜR DIE ANTRIEBSSTRANGBEWERTUNG.....	47
4.1	Kriterien zur Bewertung von Antriebssystemen und methodisches Vorgehen	47
4.2	Hydraulisches Referenzantriebssystem	50
4.3	Ermittlung von Belastungszyklen ausgewählter Baugruppen im Feldversuch	52
4.3.1	Messmethodik zur Gewinnung typischer Belastungsdaten im Feldversuch	52
4.3.2	Messtechnik.....	52
4.3.3	Kennwerte des hydraulischen Referenzantriebssystems von Vorsatz und Einzug	53
4.4	Dieselelektrisches Prototypantriebssystem.....	54
4.4.1	Elektrische Maschinen und Leistungsübertragung.....	55
4.4.2	Notwendige Peripheriesysteme	56

4.4.3	Steuerung und Kommunikation im elektrischen System	58
4.5	Ermittlung des Betriebsverhaltens des dieselektrischen Triebstrangs im Feld	59
4.6	Generierung von Lastzyklen.....	59
4.6.1	Datenbasis und Differenzierung in Arbeitsphasen.....	61
4.6.2	Verteilungsmatrizen und Kenngrößen zur Beschreibung des Lastverhaltens	62
4.6.3	Iteration von Prüfzyklen.....	63
4.7	Wirkungsgraduntersuchungen am Prüfstand.....	64
4.7.1	Prüfstands Aufbau und Messgrößen.....	65
4.7.2	Methodik Prüfstandsversuche	71
4.8	Ermittlung von Leistungsgewicht und Leistungsdichte	74
5	ERGEBNISSE.....	75
5.1	Belastungsdaten und Betriebsverhalten von Baugruppenantrieben.....	76
5.1.1	Belastungszyklen der Baugruppen Vorsatz und Einzug	76
5.1.2	Betriebsverhalten der hydraulischen Baugruppenantriebe	78
5.1.3	Betriebsverhalten der elektrische Baugruppenantriebe	79
5.2	Repräsentativität der generierten Prüfzyklen.....	80
5.3	Prüfstand und Reproduzierbarkeit der Prüfzyklen	83
5.3.1	Prüfstandsverhalten und Prüfspektrum	83
5.3.2	Reproduzierbarkeit stationärer Lastvorgaben	84
5.3.3	Reproduzierbarkeit dynamischer Lastvorgaben	84
5.4	Leistungsübertragung bei hydraulischen Triebsträngen.....	86
5.4.1	Hydraulische Baugruppenantriebe und deren stationäres Übertragungsverhalten.....	87
5.4.2	Stationäres Übertragungsverhalten der hydraulischen Leistungsbereitstellung.....	90
5.4.3	Drehzahlabhängigkeit stationär belasteter hydraulischer Baugruppenantriebe.....	92
5.4.4	Drehzahlabhängigkeit stationär belasteter hydraulischer Leistungsbereitstellung.....	96
5.4.5	Hydraulische Baugruppenantriebe bei dynamischer Belastung	99
5.4.6	Hydraulische Leistungsbereitstellung bei dynamischer Belastung	103

5.5	Leistungsübertragung bei elektrischen Triebsträngen	106
5.5.1	Elektrische Baugruppenantriebe und deren stationäres Übertragungsverhalten	106
5.5.2	Stationäres Übertragungsverhalten der elektrischen Leistungsbereitstellung	109
5.5.3	Drehzahlabhängigkeit stationär belasteter elektrischer Baugruppenantriebe.....	112
5.5.4	Drehzahlabhängigkeit stationär belasteter elektrischer Leistungsbereitstellung.....	116
5.5.5	Elektrische Baugruppenantriebe bei dynamischer Belastung	118
5.5.6	Elektrische Leistungsbereitstellung bei dynamischer Belastung	121
5.6	Leistungsgewicht und Leistungsdichte.....	124
5.6.1	Leistungsdichte hydraulischer und elektrischer Wandler im Vergleich.....	124
5.6.2	Leistungsgewicht hydraulischer und elektrischer Wandler im Vergleich.....	126
5.7	Kosten im Vergleich.....	129
6	DISKUSSION UND AUSBLICK	132
6.1	Vergleichbarkeit der Systeme und Seriennähe des dieselektrischen Prototyps.....	132
6.2	Wirkungsgrade hydraulischer und elektrischer Baugruppenantriebe im Vergleich.....	136
6.3	Zykleneffizienz von Baugruppen und Triebsträngen im Vergleich	141
6.4	Konsequenzen aus dem Vergleich von Leistungsdichte und Leistungsgewicht	143
6.5	Unterschiede in der Handhabbarkeit	144
6.6	Ausblick.....	144
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	147
	SUMMARY	150
	LITERATURNACHWEIS.....	153
	ANHANG.....	159