

Dipl.-Ing. Karl Grad, Ruderting

Zur Steuerung und Regelung des Allradantriebs bei Traktoren

Reihe **14**: Landtechnik/
Lebensmitteltechnik

Nr. **82**

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzung	4
2.1	Gegenstand der Untersuchungen	4
2.2	Analyse und rechnerische Modellierung von Allradantriebskonzepten	5
2.3	Entwurf und Darstellung eines alternativen Allradantriebskonzeptes an einem Versuchstraktor	5
2.4	Vergleichende experimentelle Untersuchungen	6
3	Stand der Technik	7
3.1	Ordnungsprinzip für Zwischenachs-Verteilergetriebe	7
3.2	Konstruktionsstand bei allradgetriebenen Traktoren	9
3.2.1	Fahrzeugkonzepte	9
3.2.2	Ausgeführte Allradantriebskonzepte bei Traktoren	11
3.2.2.1	Zwischenachs-Verteilergetriebe bei Traktoren	11
3.2.2.2	Angetriebene Lenkachsen bei Standardtraktoren	11
3.2.2.3	Steuerungskonzepte für Zwischenachs-Verteilergetriebe und Achsgetriebe	16
3.3	Allradantrieb bei sonstigen Radfahrzeugen	18
3.3.1	Zwischenachs-Verteilergetriebe und Steuerungskonzepte beim Pkw	18
3.3.2	Zwischenachs-Verteilergetriebe und Steuerungskonzepte bei Nutzfahrzeugen	20
3.4	Anforderungen an den Traktor-Allradantrieb	21
3.4.1	Beurteilungskriterien und allgemeine Anforderungen	21
3.4.2	Auslegungsdaten für den Traktor-Allradantrieb	24
3.4.2.1	Allgemeine Einsatzdaten des Allradantriebes bei Traktoren	24
3.4.2.2	Verteilung der Antriebsmomente	25
3.4.2.3	Lastkollektive für den Traktor-Antriebsstrang	28
3.4.3	Kinematische Anforderungen an den Traktor-Allradantrieb	29
3.4.3.1	Kinematische Anforderungen aus Rollradienänderungen an den Reifen ..	30
3.4.3.2	Kinematische Anforderungen aus der Kurvenfahrt	32
3.4.3.3	Kinematische Anforderungen aus Fahrbahnunebenheiten	36
3.4.3.4	Dynamik der kinematischen Anforderungen	36
4	Stand der Forschung beim Traktor-Allradantrieb	38
4.1	Grundlagen der Fahrmechanik	38
4.1.1	Kräfte am Rad	38
4.1.2	Kräfte, Leistungen und Fahrwerkswirkungsgrad am Allradtraktor	41

4.1.3	Abrollkinematik der Räder	43
4.2	Untersuchungen zu Standardtraktoren mit starrer Achskopplung	44
4.2.1	Nullschlupf-Definition	45
4.2.2	Wirkungsgradverhalten	45
4.2.3	Zugkraft und Zugleistung	46
4.2.4	Reifenverschleiß	48
4.2.5	Boden- und Pflanzenschonung	48
4.2.6	Verhalten bei Kurvenfahrt	49
4.3	Untersuchungen an Zugtraktoren mit Knick- oder Allradlenkung	49
4.4	Untersuchungen zu Traktoren mit alternativen Allradantriebskonzepten . .	51
4.4.1	Allradantrieb mit Freilaufkupplung	51
4.4.2	Allradantrieb mit Zwischenachsdifferential	54
4.4.3	Sonstige Allradantriebskonzepte	58
5	Rechnerische Modellierung der Kurvenfahrt des allradgetriebenen	
	Traktors	60
5.1	Bisherige Arbeiten	60
5.2	Modellbildung	61
5.2.1	Gleichgewicht der Kräfte und Drehmomente bei Kurvenfahrt	61
5.2.2	Modellierung der Triebkräfte und Seitenkräfte	62
5.2.3	Kinematik der Kurvenfahrt	63
5.2.4	Parameter und Zielgrößen des Rechenmodells	67
5.2.5	Programmablauf und Lösung des Gleichungssystems	68
5.3	Ergebnisse der Modellierung	69
5.3.1	Erläuterung der Ergebnisse für Basisfahrzeug	69
5.3.2	Einfluß des Radeinschlagwinkels am kurveninneren Rad	72
5.3.3	Einfluß der Fahrbahnart	74
5.3.4	Einfluß des Sperrwertes des Vorderachsdifferentials	74
5.3.5	Einfluß der Achslastverteilung	74
5.3.6	Einfluß der Zugkraft	75
6	Entwurf eines Zwischenachs-Verteilergetriebes	
	mit stufenlos verstellbarer Übersetzung	77
6.1	Systembeschreibung	78
6.1.1	Mechanischer Aufbau	78
6.1.2	Hydraulischer Aufbau	79
6.1.3	Aufbau der Elektronik, Vorgehensweise bei der Programmentwicklung . .	82

VII

6.2	Auslegung und Modellierung des Betriebsverhaltens des hydrostatischen Überlagerungsgetriebes	84
6.2.1	Mechanisches Betriebsverhalten	84
6.2.2	Hydraulisches Betriebsverhalten	85
6.2.3	Wirkungsgradbilanzierung	88
6.3	Steuerung und Regelung der Übersetzung des Zwischenachs-Verteilergetriebes	90
6.3.1	Algorithmen zur Regelung des Traktor-Allradantriebes	90
6.3.1.1	Mögliche Steuer- und Regelstrategien	90
6.3.1.2	Am Versuchstraktor ausgeführte Regelstrategie	94
6.3.2	Beschreibung des Reglers und der Regelstrecke	95
6.3.2.1	Wirkungsplan der Regelung	95
6.3.2.2	Regler	98
6.3.2.3	Stellgrößenmodell	98
6.3.2.4	Regelstrecke	99
6.3.2.5	Dynamik der Regelung	103
6.3.2.6	Regelgenauigkeit	104
6.3.2.7	Regleroptimierung	106
7	Versuchsdurchführung	110
7.1	Versuchsaufbau	110
7.1.1	Beschreibung des Versuchstraktors	110
7.1.2	Meßwerterfassungssystem	112
7.1.2.1	Meßgrößen und Sensoren	112
7.1.2.2	Meßwerterfassung und -verarbeitung	115
7.2	Versuchsplanung und Versuchsdurchführung	116
7.2.1	Untersuchte Parameter, Betriebs- und Fahrzustände	116
7.2.2	Verhältnis der Radumfanggeschwindigkeiten	117
7.3	Meßabweichungen	118
8	Versuchsergebnisse	119
8.1	Allradantrieb mit starrer Achskopplung	119
8.1.1	Versuche zur Geradeausfahrt	119
8.1.1.1	Verteilung der Drehmomente und Leistungen bei Straßenfahrt ohne Zugkraft	119
8.1.1.2	Blindleistungen im Antriebsstrang	124
8.1.1.3	Verluste im Antriebsstrang	125
8.1.1.4	Einfluß von Fahrbahnart und Schlupf	126

8.1.2	Versuche zur Kurvenfahrt	128
8.1.2.1	Verteilung der Antriebsmomente	129
8.1.2.2	Einfluß von Fahrbahnart und Schlupf	132
8.1.2.3	Kurvenfahrt mit gesperrten Achsdifferentialen	133
8.1.2.4	Kurvenfahrt mit Lenkbremse	136
8.1.3	Betriebsverhalten beim Pflügen	136
8.1.3.1	Einfluß der Ballastierung auf Achslasten und Achsdrehmomente	137
8.1.3.2	Einfluß der Differentialsperre auf die Größe der Radantriebsmomente . .	139
8.1.4	Verbesserungspotential durch elektronische Antriebsstrangsteuerungen . .	141
8.2	Allradantrieb mit geregelter Drehmomentverteilung	141
8.2.1	Nachweis der Funktion	141
8.2.1.1	Geradeausfahrt mit geregelterm Vorderachsantrieb	142
8.2.1.2	Antreiben und Bremsen	144
8.2.1.3	Vorwärts- und Rückwärtsfahrt	147
8.2.1.4	Einfluß der Achslasten	148
8.2.2	Kurvenfahrt mit geregelterm Vorderachsantrieb	150
8.2.2.1	Aufteilung der Drehmomente	150
8.2.2.2	Einfluß der Achslastverteilung	154
8.2.3	Betriebskenndaten des Überlagerungsgetriebes	155
8.2.3.1	Drehzahlverhältnisse am Überlagerungsgetriebe	155
8.2.3.2	Abtriebsleistung am Hydraulikmotor	158
8.2.3.3	Drehzahlregelung für kurzzeitigen "starrten Antrieb"	161
8.3	Regelungstechnische Analyse	163
8.3.1	Definition eines Gütekriteriums	163
8.3.2	Untersuchungen zum stationären Verhalten der Regelung	164
8.3.3	Untersuchungen zum dynamischen Verhalten der Regelung	166
8.3.3.1	Führungsgrößenänderungen	167
8.3.3.2	Störgrößenänderungen	169
8.3.4	Hinweise zur Gestaltung eines adaptiven Reglers	173
8.3.5	Untersuchungen zur Systemstruktur	174
8.4	Gegenüberstellung von Messung und Rechnung	176
9	Zusammenfassung und Ausblick	178
	Anhang 1 Grunddaten der rechnerischen Modellierung	182
	Anhang 2 Schnittbild des hydrostatischen Überlagerungsgetriebes	183

Anhang 3 Antrieb der Hydraulikpumpe am Versuchstraktor	184
Anhang 4 Ausstattungsmerkmale des Versuchstraktors	184
Anhang 5 Konzept der automatischen Allrad- und Differentialsperren- schaltung am Versuchstraktor	186
Anhang 6 Reifendaten des Versuchstraktors	187
Literaturverzeichnis	188