

Dipl.-Ing. Welm Friedrichsen,
Nordborg/Dänemark

**Untersuchungen zum
dynamischen Verhalten von
hydrostatischen Lenkungen
in unterschiedlichen
Schlepperhydrauliksystemen**

Reihe **14**: Landtechnik/
Lebensmitteltechnik Nr. **49**

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Aufgabenstellung	1
2	Stand der Technik auf dem Gebiet der hydrostatischen Lenkungen	3
2.1	Aufbau und Funktion hydrostatischer Lenkeinheiten	3
2.2	Die hydrostatische Lenkung in unterschiedlichen Hydrauliksystemen	8
2.2.1	Konstantstromsysteme	8
2.2.2	Konstantdrucksysteme	11
2.2.3	LS-Systeme	12
2.2.3.1	Prinzip der LS-Schaltungen	12
2.2.3.2	Prioritätsschaltungen für LS-Lenkensysteme	15
2.2.3.3	Spülstromschaltungen für LS-Lenkensysteme	17
2.2.3.4	Komplette LS-Systeme	20
2.3	Anforderungen an hydrostatische Lenkungen	20
2.4	Stand der Forschung auf dem Gebiet der hydrostatischen Lenkungen	24
3	Theoretische Grundlagen	28
3.1	Betrachtungen zum Regelkreis der hydrostatischen Lenkungen	28
3.2	Analyse des Ansprechverhaltens der Lenkung	33
3.2.1	Lenkraddrehzahl, Totgang und Beschleunigungs-Kenngröße	33
3.2.2	Berechnung des Pumpenvolumenstromes und der Regelabweichung in einer hydrostatischen Lenkeinheit	41
3.3	Entwicklung eines Rechnerprogramms zur theoretischen Berechnung der Regelabweichung einer hydrostatischen Lenkung	47
4	Versuchsdurchführung und -auswertung	48
4.1	Versuchsauswertung mit der Beschleunigungs-Kenngröße	50
4.2	Auswertung der Versuche zum Standardlenken	53
4.3	Auswertung der Versuche zum Hin- und Herlenken	57
4.4	Auswahl der Versuchsparameter	59

5	Ergebnisse der Untersuchungen an hydrostatischen Lenkungen . .	62
5.1	Lenkraddrehzahl, -beschleunigung und Beschleunigungs- Kenngröße bei unterschiedlichen Fahrsituationen des Schleppers	62
5.2	Konstantstromsystem	64
5.2.1	Charakteristische Echtzeitverläufe	64
5.2.2	Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	65
5.2.3	Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	68
5.2.4	Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	73
5.2.5	Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von Konstantstromlenksystemen	75
5.3	Konstantdrucksystem	76
5.3.1	Charakteristische Echtzeitverläufe	76
5.3.2	Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	77
5.3.3	Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	81
5.3.4	Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	84
5.3.5	Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von Konstantdrucklenksystemen	85
5.4	LS-Schaltung A (direkte LS-Schaltung mit Verstellpumpe) .	95
5.4.1	Charakteristische Echtzeitverläufe	85
5.4.2	Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	92
5.4.2.1	Analyse des dynamischen Verhaltens der Verstellpumpe	95
5.4.2.2	Anfangsverstellzeit der Pumpe als Beurteilungskriterium für das Ansprechverhalten der Volumenstromregelung	97
5.4.2.3	Überprüfung der theoretischen Grundlagen anhand der Versuchsergebnisse	102
5.4.3	Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	103
5.4.4	Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	107
5.4.5	Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von hydrostatischen Lenksystemen mit der LS-Schaltung A	112

5.5 LS-Schaltung B (indirekte LS-Schaltung mit Verstellpumpe)	114
5.5.1 Charakteristische Echtzeitverläufe	114
5.5.2 Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	119
5.5.3 Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	128
5.5.4 Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	129
5.5.5 Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von hydrostatischen Lenksystemen mit der LS-Schaltung B	132
5.6 LS-Schaltung C (direkte LS-Schaltung mit Konstantpumpe) .	133
5.6.1 Charakteristische Echtzeitverläufe	133
5.6.2 Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	136
5.6.3 Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	140
5.6.4 Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	144
5.6.5 Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von hydrostatischen Lenksystemen mit der LS-Schaltung C	145
5.7 LS-Schaltung D (indirekte LS-Schaltung mit Konstantpumpe)	148
5.7.1 Charakteristische Echtzeitverläufe	148
5.7.2 Ansprechverhalten der Volumenstromregelung bei Betriebstemperatur	149
5.7.3 Ansprechverhalten des Lenkzylinders bei Betriebstemperatur	154
5.7.4 Ansprechverhalten bei niedrigen Öltemperaturen . . .	155
5.7.5 Zusammenfassung und Hinweise für die Konstruktion von Lenkhydrauliksystemen mit der LS-Schaltung D	158
5.8 Theoretische Berechnung des Ansprechverhaltens der Volumenstromregelung von hydrostatischen Lenkungen mit LS-Schaltung A	159
5.8.1 Auswahl der Einflußgrößen für die theoretische Berechnung	160
5.8.2 Ergebnisse der theoretischen Berechnungen	161
5.8.2.1 Theoretischer Volumenstrom	162
5.8.2.2 Anfangsverstellzeit	162
5.8.2.3 Spülvolumenstrom	163
5.8.2.4 Gesamtverstellzeit	163
5.8.2.5 Verdrängungsvolumen der Lenkeinheit	163
5.8.2.6 Maximaler Öffnungswinkel der Lenkeinheit . . .	166

6	Zusammenspiel von Lenk- und Arbeitshydraulik bei einem Zentralhydrauliksystem mit LS-Schaltung A	167
6.1	Auftretende und kritische Betriebszustände des Hydrauliksystems	167
6.2	Ergebnisse der praktischen Untersuchungen	172
6.3	Zusammenfassung der Untersuchungen beim Zusammenspiel von Lenk- und Arbeitshydraulik	181
7	Vergleich der untersuchten Lenkhydrauliksysteme im Hinblick auf die Auswahl und die praktische Gestaltung von hydrostatischen Lenkungen	182
7.1	Ansprechverhalten der Volumenstromregelung	182
7.2	Ansprechverhalten des Lenkzylinders	185
7.3	Einfluß der Öltemperatur	190
8	Zusammenfassung	195
9	Literatur	201
10	Anhang	207

0
11