

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungen, Formelzeichen	11
<b>1      <u>Einleitung</u></b>	<b>14</b>
1.1      Vergleich und Anforderungen an Vorschubantriebe	14
1.2      Aufgabenstellung	17
<b>2      <u>Klassifizierung der Regelsysteme für elektrohydraulische Vorschubantriebe</u></b>	<b>19</b>
2.1      Stand der Entwicklung bei elektrohydraulischen Antrieben	19
2.2      Einteilung der Regelsysteme	21
2.3      Konzepte zur Realisierung diskreter Regelungen an elektrohydraulischen Vorschubantrieben	25
<b>3      <u>Analyse und Modellbildung der elektrohydraulischen Regelstrecken</u></b>	<b>29</b>
3.1      Elektrohydraulische Stellglieder	29
3.2      Servozyylinder	30
3.2.1      Das nichtlineare Verhalten des Servozyinders	30
3.2.2      Servozyylinder als nichtlineares Modell 3. Ordnung	31
3.2.3      Experimentelle Analyse des Servozyinders	35
3.2.3.1      Dynamisches Verhalten	35
3.2.3.2      Statische Analyse	36
<b>4      <u>Auslegung diskreter linearer Zustandsregelungen</u></b>	<b>37</b>
4.1      Allgemeine Betrachtungen	37
4.2      Auslegung über die Matrix-Riccati-Differenzengleichung	38
4.2.1      Auslegung linearer Zustandsregelungen 3. Ordnung	39
4.2.2      Auslegung linearer Zustandsregelungen 5. Ordnung	43
4.3      Robuste Auslegung linearer Zustandsregelungen	46
4.3.1      Allgemeine Betrachtungen	46
4.3.2      Auslegung eines im Sinne eines Gütekriteriums optimalen Beobachters	48

4.3.3	Vergleich diskreter vollständiger und reduzierter Beobachter	49
4.3.4	Bewertung der Beobachter	52
4.4	Aufbau der elektrohydraulischen Vorschubeinheit für die experimentellen Untersuchungen	52
4.5	Experimentelle Ergebnisse beim Einsatz linearer Zustandsregler	54
4.5.1	Kaskadenstruktur der Zustandsregelung Servoventil - Servozylinder	54
4.5.2	Vollständige Zustandsregelung 5. Ordnung	55
4.5.3	Bewertung und Vergleich	57
5	<b><u>Robuste Auslegung linearer Zustandsregelungen</u></b>	59
5.1	Allgemeine Betrachtungen	59
5.2	Robuste Zustandsregelungen für Verzögerungsglieder 2. Ordnung	60
5.3	Vergleich der Auslegungsverfahren auf Robustheit	60
5.4	Robuste Zustandsregelung 3. Ordnung	62
5.5	Robuste Zustandsregelung des Gesamtsystems 5. Ordnung	64
5.6	Bewertung und Vergleich	65
6	<b><u>Nichtlineare Zustandsregelungen für Regelstrecken mit Parameterunsicherheiten</u></b>	66
6.1	Theorie zum parameterunempfindlichen Reglerentwurf nach Leitmann	67
6.1.1	Kontinuierlicher Zeitbereich	67
6.1.2	Diskreter Zeitbereich	72
6.2	Diskrete Regelung elektrohydraulischer Stellglieder	73
6.2.1	Servoventil	73
6.2.2	Proportionalventil	77
6.3	Diskrete Regelung elektrohydraulischer Vorschubantriebe	78
6.3.1	Diskrete Zustandsregelung 3. Ordnung	78
6.3.2	Diskrete Zustandsregelung 5. Ordnung	82

6.3.3	Experimentelle Erprobung des parameterunempfindlichen Zustandsreglers	82
6.3.4	Vergleich der robusten mit der parameterunempfindlichen Zustandsregelung	84
7	<b><u>Regelungen für elektrohydraulische Vorschubantriebe unter Berücksichtigung der nichtlinearen Veränderungen der dynamischen Kenngrößen durch gesteuerte Adaption</u></b>	86
7.1	Allgemeine Betrachtungen	86
7.2	Bestimmung unbekannter Systemparameter aus Meßdaten	87
7.2.1	Bestimmung der unbekannten Systemparameter aus Meßwerten für $\omega_{OH} \cdot D_H$	88
7.2.2	Bestimmung der unbekannten Systemparameter aus Meßwerten für $\omega_{OH}$	89
7.3	Diskrete nichtlineare Systementkopplung	91
7.3.1	Nichtlineares Streckenmodell zur diskreten Entkopplung	91
7.3.2	Nichtlineare Entkopplungsalgorithmen	92
7.3.3	Vergleich der Entkopplungsnetzwerke	95
7.3.4	Einfluß der Ventildynamik auf die Entkopplungsgüte	95
7.3.5	Einfluß der Abtastzeit auf die Entkopplungsgüte	97
7.3.6	Bewertung	97
7.4	Zustandsregelung mit Adaptionskennlinien	99
7.4.1	Lineare Parameteradaption in Abhängigkeit des Kolbenhubes	100
7.4.1.1	Wahl der Stützpunkte	100
7.4.1.2	Adaption der Zustandsregelung 3. Ordnung	102
7.4.1.3	Adaption der kaskadierten Zustandsregelung 5. Ordnung	103
7.4.1.4	Einfluß der Abtastzeit	103
7.4.1.5	Einfluß der Rechengenauigkeit	106
7.4.2	Parameteradaption mit Hilfe von Polynomen	106
7.4.3	Lineare Anpassung der Kreisverstärkung in Abhängigkeit des Ventilaussteuerungsgrades	107
7.4.4	Richtungsabhängige Anpassung der Kreisverstärkung	108
7.4.5	Bewertung und Vergleich	109

<b>8</b>	<b><u>Diskrete nichtlineare Regelungen unter Berücksichtigung nichtlinearer Kennlinien und Störgrößen</u></b>	<b>111</b>
8.1	Störgrößenbeobachtung und -kompensation	111
8.1.1	Einfluß von Störgrößen auf den Zustandsbeobachter	113
8.1.2	Zustands- und Störgrößenbeobachter für den Servozylinder	117
8.1.3	Zustands- und Störgrößenbeobachter für das Servoventil	119
8.2	Kompensation der Störeinflüsse auf das Servoventil	119
8.3	Berücksichtigung der hydraulischen Nullpunktdrift von Ventilen	122
8.3.1	Kompensation der Drift über die Stellgröße	122
8.3.2	Beeinflussung des Lagesollwertes	123
8.3.3	Experimentelle Ergebnisse und Vergleich der Verfahren	124
8.4	Berücksichtigung der Totzone von Ventilen	125
8.4.1	Inverse Totzone im Regelkreis	126
8.4.2	Beeinflussung des Sollwertes für die Ventilschieberposition	126
8.4.3	Betrachtung der Totzone als Störgröße	129
8.4.4	Bewertung und Vergleich	130
8.5	Einfluß der Haftreibung auf das Verhalten im geschlossenen Regelkreis	131
8.6	Diskrete Zustandsregelung unter Berücksichtigung von Begrenzungen	132
8.6.1	Begrenzung der Beschleunigung des Servozylinders	132
8.6.2	Begrenzung der Steuerschiebergeschwindigkeit des Servoventils	133
8.7	Bewertung	134
<b>9</b>	<b><u>Zusammenfassung</u></b>	<b>135</b>
	Schrifttum	138
	<b>Anhang</b>	