

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Kurzfassung	v
Abstract	vii
1 Einleitung	1
1.1 Problembeschreibung und Forschungshypothese	2
1.2 Beitrag dieser Arbeit	4
1.3 Notationskonventionen	5
2 Grundlagen	7
2.1 Aufbau von Kugelgewindetrieben	7
2.2 Trajektorienfolgeregelung von Vorschubantrieben mittels Kaskadenregelung	10
3 Stand der Forschung und Technik	13
3.1 Direkte Regelung ohne Kaskadenstruktur	14
3.1.1 Modellprädiktive Regelung	16
3.1.2 Sliding-Mode-Ansätze	16
3.2 Erweiterungen der Kaskadenregelung	18
3.3 Optimale Reglerparametrierung	21
3.4 Zusammenfassende Bewertung des Stands der Technik	22
4 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise	25
4.1 Zielsetzung	25
4.2 Vorgehensweise/Aufbau der Arbeit	26
5 Modellierung und Identifikation des dynamischen Verhaltens	29
5.1 Versuchsstand	29
5.2 Modellierung	31
5.2.1 Mehrkörpermodellierung der KGT-Mechanik	31
5.2.2 LDA-Kräfte	37

5.2.3	Reibung	38
5.2.4	Stromsollwertfilter	40
5.2.5	Grenzen des gewählten Modells	41
5.3	Parameteridentifikation des Gesamtmodells	43
5.3.1	LDA-Kräfte	44
5.3.2	Stribeck-Reibung	45
5.3.3	Steifigkeiten und Dämpfungen	47
5.3.4	Dynamik des Stromregelkreises	53
5.4	Analyse des Mechanikmodells	54
5.4.1	Modellverhalten im Frequenzbereich	54
5.4.2	Modellverhalten im Zeitbereich	55
6	Geschwindigkeitsregelkreis und Lageregelstrecke	59
6.1	Modellierung und Analyse	60
6.1.1	Auswirkung von Übertragungstotzeiten	61
6.1.2	Einfluss des Stromsollwertfilters auf Stabilität und Robustheit	63
6.1.3	Auswirkung der Reglerparameter $k_{p,v}$ und $k_{i,v}$	64
6.2	Parametrierung des Geschwindigkeitsreglers	66
6.2.1	Parametrierung über Einstellregeln aus der Literatur	70
6.2.2	Loop-Shaping	73
6.2.3	Robuste Parametrierung über H_∞ -Optimierung	74
6.3	Vergleich der Parametrierverfahren	79
6.4	Modellreduktion der Lageregelstrecke	83
6.4.1	Ermitteln der Modellparameter im Frequenzbereich	85
6.4.2	Optimierung der reduzierten Parameter über Prädiktions- fehlermethoden	86
6.4.3	Identifikation der reduzierten Strecke	87
7	Lageregelung mittels Sliding-Mode-Regelung	91
7.1	Herleitung der Sliding-Mode-Regelung flacher Systeme	91
7.1.1	Nichtlinearer, Quasi-Sliding-Mode-Regler	98
7.1.2	Sliding-Mode-Reglerentwurf mit linearer Ansatzfunktion	101
7.2	Zustandsbeobachter	102
7.3	Regelkreis mit Lageregler	104
7.4	Parametrierung	107
7.4.1	Auswahl eines Verfahrens zur PT ₂ I-Approximation	107
7.4.2	Robustes Beobachter-Tuning	108

7.4.3	Quasi-Sliding-Mode-Lageregler	109
7.4.4	Sliding-Mode-Lageregler mit linearer Ansatzfunktion	113
7.4.5	Robustheit der Lageregler gegenüber Fehlern in den Modell- parametern	116
8	Validierung und Vergleich der Lageregler	121
8.1	Quasi-Sliding-Mode-Lageregler	124
8.2	Sliding-Mode-Lageregler mit linearer Ansatzfunktion	126
8.3	Robuste Performance gegenüber den Modellparametern	129
8.4	Vergleich mit dem P-Lageregler	130
9	Zusammenfassung	141
	Literatur	145
	Abkürzungsverzeichnis	165
	Symbolverzeichnis	167
	Abbildungsverzeichnis	173
	Tabellenverzeichnis	177
	Anhang	179
A	Aufbau und Parameter des verwendeten KGT-Versuchsstands	179
A.1	Mechanik	179
A.2	Antriebe	180
A.3	Sensorik	180
A.4	Ansteuerelektronik	181
B	Parametrierung	182