

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Kurzfassung	v
Abstract	vii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Symbolverzeichnis	xv
Abbildungsverzeichnis	xxv
Tabellenverzeichnis	xxix
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Modellierung von Industrierobotern	5
2.1.1 Starrkörperdynamik	6
2.1.2 Elastischer Antriebsstrang	8
2.1.3 Gesamtmodell	14
2.2 Parameteridentifikation	16
2.2.1 Methodik und Vorüberlegungen	16
2.2.2 Starrkörperdynamik	17
2.2.3 Elastischer Antriebsstrang	21
	ix

2.3	Robuste Regelung	24
2.3.1	H_∞ -Optimierung	24
2.3.2	Strukturierter H_∞ -Entwurf	31
2.4	LPV-basiertes Gain-Scheduling	32
2.4.1	LPV-Modellierung	34
2.4.2	LPV-Methodik	36
2.5	Ansätze zur Genauigkeits- und Dynamiksteigerung von Industrierobotern	41
2.5.1	Theoretisch geprägte Ansätze	41
2.5.2	Praxisorientierte Ansätze	43
2.5.3	Applikationsspezifische Ansätze	45
2.5.4	Bewertung	47
3	Zielsetzung und Vorgehensweise	51
4	Antriebsbasierte Schwingungsdämpfung	55
4.1	Lineares Regelgesetz	55
4.2	Interpretation des Regelgesetzes	61
4.3	Strukturierter H_∞ -Entwurf	63
4.3.1	Drehzahlregelkreis	65
4.3.2	Dämpfungs- und Positionsregelkreis	69
4.4	LPV-Gain-Scheduling	70
4.5	Dezentraler Beobachter	77
4.5.1	Auswahl der Beobachterstruktur	78
4.5.2	Beobachtbarkeitsanalyse	81
5	Experimentelle Untersuchung	83
5.1	Verwendeter Versuchsstand	83
5.2	Parameteridentifikation	86
5.2.1	Starrkörperdynamik	86
5.2.2	Elastischer Antriebsstrang	92
5.3	Beobachterausslegung und -validierung	96

5.4	Reglersynthese	99
5.4.1	Drehzahlregelkreis	100
5.4.2	Dämpfungs- und Positionsregelkreis	102
5.4.3	Analyse der Regelgüte	105
5.5	Stabilitätsanalyse	107
5.6	Experimentelle Regelungsperformanz	110
5.6.1	Trajektorienfolge	112
5.6.2	Fräsbearbeitung	118
5.6.3	Diskussion	122
6	Zusammenfassung und Ausblick	123
	Literatur	127
	Anhang	155
A	Anwendungsbeispiel KUKA KR210-2 Industrieroboter	155
A.1	Kinematik	155
A.2	Streckenparameter	157
A.3	Validierung Starrkörperidentifikation	159
A.4	Gewichtungen für den LPV-Reglerentwurf	160
B	Mathematische Definitionen	161
B.1	Bounded Real Lemma	161
B.2	Lipschitz-Stetigkeit	161
B.3	Stabilitätstheorie nach Lyapunov	162
B.4	Stabilität von LPV-Systemen	162
C	Eigenschaften von Roboter manipulatoren	167