

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	v
Abstract	vii
Abkürzungsverzeichnis	xiii
Symbolverzeichnis	xv
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Stand der Technik und Forschung	3
2.1 Grundlagen der Industrierobotik	3
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise	3
2.1.2 Dynamische Bahngenaugigkeit	7
2.2 Ansätze zur Verbesserung der dynamischen Bahngenaugigkeit	10
2.2.1 Steuerungstechnische Maßnahmen	11
2.2.2 Regelungstechnische Maßnahmen	15
2.2.3 Konstruktive Maßnahmen	17
2.3 Zusammenfassende Bewertung	19
2.3.1 Bewertung der Lösungsansatzklassen	20
2.3.2 Defizit und Handlungsbedarf	22
2.4 Dynamisches Verhalten von Roboterantrieben	23
2.4.1 Abtriebsseitige Last und Getriebe	24
2.4.2 Servomotor und Frequenzumrichter	25
2.4.3 Drehzahl- und Lageregelung	27
2.4.4 Vorsteuerung	30
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	31

4	Systemanalyse	37
4.1	Versuchsumfeld und Messaufbau	37
4.1.1	Bewertungsmetriken im Zeitbereich und Notation	39
4.2	Führungsverhalten im kartesischen Raum	40
4.3	Störverhalten im kartesischen Raum	43
4.4	Mechanisches Übertragungsverhalten der Hauptachsen	45
4.5	Dominante Eigenfrequenz und Dämpfungsgrad von Achse 1	47
4.6	Nichtidealitäten im Antriebsstrang	48
4.7	Praxisrelevante Randbedingungen	51
4.8	Fazit	51
5	Semiaktives Regelgesetz	53
5.1	Regelgesetzentwurf	53
5.2	Wirkungsweise	58
5.3	Gegenüberstellung der Regelgesetze	61
5.4	Einfluss des dynamikbegrenzten Dämpfungsaktuator	63
5.5	Steuerungstechnische Integration	67
6	Dämpfungsaktuator	69
6.1	Elektromagnetischer Dämpfungsaktuator	71
6.1.1	Elektromagnetisches Teilsystem	72
6.1.2	Mechanisches Teilsystem	78
6.1.3	Integration	81
6.2	Elektromotorischer Dämpfungsaktuator	83
7	Parametrierung	87
7.1	Analyse des Verstärkungsfaktors K_d	87
7.1.1	Einfluss auf die Mechanik	87
7.1.2	Einfluss auf Drehzahl- und Lageregelung	89
7.1.3	Wechselseitige Abhängigkeiten der Einstellparameter	90
7.2	Mixed-Sensitivity Loop Shaping	92
7.2.1	Parametrische Unsicherheiten	94
7.2.2	Parametererhaltende Linearisierung der SAD	94
7.2.3	Bandbreitenbeschränkendes Vorfilter	96
7.2.4	Spezifikation der Optimierungsziele	98

7.3 Diskussion der (optimierten) Parametersätze 102

7.4 Inbetriebnahmegerechte Einstellregeln 105

8 Experimentelle Validierung am Industrieroboter 107

8.1 Signalaufbereitung 107

8.2 Mechanisches Streckenverhalten 111

8.3 Robuste Stabilität 112

8.4 Regelungsperformanz 113

8.5 Dynamische Bahngenauigkeit 115

8.5.1 Trajektorienfolgeverhalten 115

8.5.2 Fräsbearbeitung 117

8.6 Diskussion der Ergebnisse 120

9 Potenziale und Grenzen 121

9.1 Einsetzbarkeit 121

9.2 Anwendungen 123

10 Zusammenfassung und Ausblick 127

Literatur 131

Abbildungsverzeichnis 153

Tabellenverzeichnis 157

Anhang 159

A Geregelttes Zweimassenschwingermodell 159

A.1 Parameterwerte 159

B Industrieroboter 160

B.1 Technische Daten 160

B.2 Offene Steuerungsarchitektur 161

B.3 Betrachtete Posen und zugehörige Gelenkwinkel 162

B.4 Parameterwerte für die Antriebsregelung 163

C Dämpfungsaktuator 164

C.1 Technische Daten 164

C.2 Explosionszeichnung 165

- D Direktantrieb 166
 - D.1 Technische Daten 166
- E Einfluss der Regelparameter des Drehzahlreglers 167
 - E.1 Einfluss von K_p 167
 - E.2 Einfluss von T_n 168
- F SAD mit antriebsseitiger Lageregelung 169