

Inhaltsverzeichnis

0	Formel- und Kurzzeichen	III
0.1	Operatoren	III
0.2	Formelzeichen	III
0.3	Abkürzungen	XIII
1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen	3
2.2.1	Grundlagen	3
2.2.2	Messtechnische Erfassung	4
2.2.3	Grundlegende Modelle	6
2.2.4	Ursachen und Wirkungen	9
2.2.5	Möglichkeiten der Beeinflussung	12
2.3	Aktive Schwingungskompensation mit Piezoaktoren	18
2.3.1	Grundlagen	20
2.3.2	Piezelektrische Grundgleichungen	21
2.3.3	Kollokierte Sensor-Aktor-Anordnung	22
2.4	Grundlagen der Regelungstechnik	25
2.5	Moderne Regelungstechnik	30
2.5.1	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	31
2.5.2	Stabilität	32
2.5.3	Robustheit	33
2.5.4	Optimierung der Reglerparameter	35
3	Zielstellung	37
4	Versuchsbedingungen, Messeinrichtungen und Modelle	39
4.1	Versuchsaufbau	39
4.2	Messtechnik	40
4.3	Simulationssoftware	44
4.3.1	Simulation des strukturdynamischen Verhaltens	44
4.3.2	Simulation des geregelten Systemverhaltens	45
4.4	Modelle und Methoden	46
4.4.1	Systemidentifikation	46
4.4.2	Reglerentwicklung	47
5	Selbstoptimierendes System zur aktiven Schwingungskompensation	49
5.1	Dynamisches Verhalten der Versuchsstruktur	49
5.2	Anforderungsanalyse	54
5.2.1	Funktionale Anforderungen	54
5.2.2	Spezifizierung der Anforderungen	55
5.3	Konzeptionierung	60
5.3.1	Aktorfreiheitsgrade	60
5.3.2	Auswahl geeigneter Piezoaktoren, Verstärker und Kraftsensoren	62
5.3.3	Vorspannung und Querkraftentkopplung	63
5.4	Simulationsunterstützte CAD-Konstruktion	67
5.4.1	System zur aktiven Schwingungskompensation	67

5.4.2	Simulation des dynamischen Verhaltens des Gesamtsystems	70
5.4.3	Simulationsbasierte Evaluation des Systems bezüglich der Steuerbarkeit und der Beobachtbarkeit	74
5.5	Montage und Inbetriebnahme	77
5.6	Systemidentifikation	78
5.6.1	Relevante Übertragungsfunktionen	78
5.6.2	Automatische Systemidentifikation auf Basis der p-LSCF-Methode	83
5.6.3	Evaluation des Modells	87
5.7	Entwurf des selbstoptimierenden robusten Reglers	92
5.7.1	Vorgehensweise beim Reglerentwurf	92
5.7.2	Skalierung	93
5.7.3	Reglerkonzept	96
5.7.4	Optimierung des Reglers	99
5.7.5	Simulation des Regelverhaltens	103
5.7.6	Implementierung	107
6	Bewertung der Dämpfungsfähigkeit des aktiven Systems	108
6.1	Vorgehensweise	108
6.2	Dämpfungsfähigkeit des aktiven Systems	108
6.3	Einfluss der Vorspannung	110
6.4	Dynamisches Verhalten der ungedämpften und der gedämpften Struktur	117
6.4.1	Modalanalyse	117
6.4.2	Beschleunigbarkeit an der Traverse	119
7	Zusammenfassung und Fazit	122
8	Literaturverzeichnis	124
	Anhang	137
A1	Systemidentifikation	137
A1.1	Schätzmethoden	137
A1.2	Modale Entkopplung der Bewegungsgleichungen	138
A1.3	Ermittlung der Modalparameter	140
A2	Reglerentwicklung	143
A2.1	Systematik	143
A2.2	Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit und Regelbarkeit	144
A2.3	Stabilität	147
A2.4	Robustheit	150
A2.5	Koprime Faktorisierung und robuste Stabilisierung	156
A3	Montage und Inbetriebnahme	161