

# Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>5</b>
2.1 Auslegung von Werkzeugmaschinen . . . . .	5
2.2 Allgemeines zur Dämpfungsmodellierung . . . . .	8
2.2.1 Dämpfungsarten . . . . .	8
2.2.2 Dämpfungsmodelle . . . . .	9
2.2.3 Modellierungsbegriffe . . . . .	14
2.3 Theoretische Modelle und Identifikationsansätze . . . . .	15
2.3.1 Lineare Dämpfungsmodelle . . . . .	15
2.3.2 Dämpfungsmessung . . . . .	23
2.3.3 Identifikation von Dämpfungsmatrizen . . . . .	27
2.4 Dämpfungsmodellierung bei Werkzeugmaschinen . . . . .	30
2.4.1 Übersicht . . . . .	30
2.4.2 Strukturdämpfung . . . . .	31
2.4.3 Werkstoffdämpfung . . . . .	34
2.4.4 Fugendämpfung . . . . .	37
2.4.5 Dämpfung von Maschinenelementen . . . . .	42
2.5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen . . . . .	49
<b>3 Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>51</b>
3.1 Ziel der Arbeit . . . . .	51
3.2 Vorgehensweise . . . . .	53
<b>4 Modellierungs- und Identifikationsmethodik</b>	<b>55</b>
4.1 Problemstellung und Lösungsansatz . . . . .	55
4.2 Superposition von Dämpfungsgradanteilen . . . . .	57
4.2.1 Modellannahmen . . . . .	57
4.2.2 Simulierte Dämpfungswirkung . . . . .	64
4.2.3 Identifikationsprinzip . . . . .	69

4.3	Vorgehensmethodik für reale Strukturen . . . . .	74
4.3.1	Übersicht . . . . .	74
4.3.2	Festlegung der Montagezustände . . . . .	76
4.3.3	Dämpfungsmodellierung . . . . .	79
4.3.4	Parameteridentifikation . . . . .	83
4.3.5	Validierung . . . . .	87
4.4	Einbeziehung modaler Messdaten . . . . .	90
4.4.1	Änderungen im Identifikationsprozess . . . . .	90
4.4.2	Angepasste Parameteridentifikation . . . . .	92
4.5	Schlussbetrachtung . . . . .	97
<b>5</b>	<b>Erweiterungen und Grenzen des Superpositionsprinzips</b>	<b>99</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	99
5.2	Berücksichtigung von Unsicherheiten . . . . .	100
5.2.1	Unsichere Parameter . . . . .	100
5.2.2	Fehlerfortpflanzung . . . . .	101
5.2.3	Monte-Carlo-Methode . . . . .	102
5.3	Einfluss nicht-proportionaler Dämpfungsanteile . . . . .	108
5.3.1	Komplexwertigkeit der Eigenvektoren . . . . .	108
5.3.2	Auswirkungen auf den Frequenzgang . . . . .	114
5.4	Schlussbetrachtung . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Experimentelle Dämpfungsgradbestimmung</b>	<b>119</b>
6.1	Allgemeines . . . . .	119
6.2	Einflüsse des Versuchsaufbaus . . . . .	120
6.2.1	Aufstellung und Aufhängung . . . . .	120
6.2.2	Aktoren und Sensoren . . . . .	129
6.3	Messdatenauswertung . . . . .	133
6.3.1	Identifikation kleiner Dämpfungsgrade . . . . .	133
6.3.2	Dämpfungsgradbestimmung bei Nichtlinearitäten . . . . .	141
6.4	Handlungsempfehlungen . . . . .	149
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiel</b>	<b>151</b>
7.1	Vorgehensweise . . . . .	151
7.2	Aufstellung und Material . . . . .	153
7.2.1	Strukturkomponenten auf Federn . . . . .	153
7.2.2	Maschinenbett auf Kugeln . . . . .	158
7.2.3	Maschinenbett auf Keilschuhen . . . . .	164
7.3	Verschraubte Fugen . . . . .	165
7.3.1	Führungsschienen und Lagerböcke . . . . .	165
7.3.2	Maschinenständer . . . . .	167

---

7.4	Linearachse . . . . .	169
7.4.1	Führungsschuhe . . . . .	169
7.4.2	Kugelgewindetrieb . . . . .	172
7.5	Gesamtmaschine . . . . .	178
7.6	Bewertung der Simulationszeiten . . . . .	185
7.7	Schlussbetrachtung . . . . .	189
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>193</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	193
8.2	Ausblick . . . . .	195
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>197</b>
A.1	Aufstellung eines modalen Zustandsraummodells . . . . .	197
A.2	Frequenzabhängigkeit allgemein linearer Dämpfungsmodelle . . . . .	199
A.3	Modelldaten der verwendeten Drei-Massen-Schwinger . . . . .	201
A.4	Identifikation am Beispiel eines Prüfstandes . . . . .	202
A.5	Grundlagen der Fehlerfortpflanzung . . . . .	204
A.6	Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes . . . . .	207
A.6.1	Identifikation einer Dissipationsquelle . . . . .	207
A.6.2	Identifikation mehrerer Dissipationsquellen . . . . .	210
A.7	Untersuchte Montagezustände . . . . .	211
A.8	Überprüfung der Messdaten auf Korrelation . . . . .	212
A.9	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen . . . . .	213
A.10	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten . . . . .	214
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>215</b>