

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	V
Verzeichnis der Formelzeichen	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	5
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
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	51
3.1 Ziel der Arbeit	51
3.2 Vorgehensweise	53
4 Modellierungs- und Identifikationsmethodik	55
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

I

Inhalt

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
5	Erweiterungen und Grenzen des Superpositionsprinzips	99
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
6	Experimentelle Dämpfungsgradbestimmung	119
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
7	Anwendungsbeispiel	151
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
8	Zusammenfassung und Ausblick	193
8.1	Zusammenfassung	193
8.2	Ausblick	195
A	Anhang	197
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
	Literaturverzeichnis	215