

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	17
Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen	19
1 Einleitung	27
2 Stand der Forschung	31
3 Motivation, Ziele und Struktur der Arbeit	45
3.1 Motivation	45
3.2 Voruntersuchungen	45
3.2.1 Statisches Verhalten	45
3.2.2 Dynamisches Verhalten	48
3.3 Ziele	50
3.4 Struktur der Arbeit	52
4 Nichtlinearitäten beim statischen und dynamischen Verhalten	53
4.1 Statisches Verhalten	53
4.1.1 Grundlagen	53
4.1.2 Nichtlineares statisches Verhalten	54
4.2 Dynamisches Verhalten	55
4.2.1 Grundlagen	55
4.2.2 Nichtlineares dynamisches Verhalten	58
5 Demonstrator und Versuchsstand	63
5.1 Demonstrator	63
5.1.1 Maschine	63
5.1.2 Kardangelenk	64
5.2 Versuchsstand	64
6 Statisches Verhalten	67
6.1 Theoretische Vorbetrachtungen	67
6.2 Ziel und Vorgehensweise bei statischen Untersuchungen am Kardan- gelenk	69

6.3	Ermittlung des statischen Verhaltens des Kardangelenks	69
6.3.1	Messung des statischen Verhaltens am Versuchsstand	69
6.3.2	Auswertung der Messung am Versuchsstand	71
6.3.3	Aufbau des FE-Modells des Kardangelenks	75
6.3.4	Ergebnisse der statischen Untersuchungen am Versuchsstand .	77
6.4	Ziel und Vorgehensweise bei statischen Untersuchungen an der Maschine	81
6.5	Alternatives Modell zur Berechnung des statischen Verhaltens parallelkinematischer Werkzeugmaschine	82
6.6	FE-Modell zur Berechnung des statischen Verhaltens des Demonstrators	85
6.7	Ergebnisse der statischen Untersuchungen an der Maschine	87
7	Dynamisches Verhalten	93
7.1	Theoretische Vorbetrachtungen	93
7.2	Dämpfung	94
7.2.1	Definition und Gliederung der Dämpfung im Werkzeugmaschinenbau	94
7.2.2	Werkstoffdämpfung	96
7.2.3	Fügestellendämpfung	97
7.2.4	Mathematische Beschreibung der Werkstoff- und Fügestellendämpfung	98
7.3	Dynamische Untersuchungen am Kardangelenk	109
7.3.1	Ziele und Vorgehensweise bei dynamischen Untersuchungen am Kardangelenk	109
7.3.2	Modalanalyse des Versuchsstands mit Kardangelenk	110
7.3.3	Schwingungsmodell des Versuchsstands anhand direkter Identifikation	111
7.3.4	Schwingungsmodell des Versuchsstands aus Messungen im Zeitbereich	120
7.3.5	Parameter des Schwingungsmodells des Versuchsstands . . .	126
7.3.6	Berechnung mit den Schwingungsmodellen des Versuchsstands	137
7.3.7	Identifikation der statischen Steifigkeit	148
7.3.8	Vergleich der berechneten mit gemessenen Schwingungen . .	152
7.4	Dynamische Untersuchungen an der Maschine	156
7.4.1	Ziele und Vorgehensweise bei dynamischen Untersuchungen an der Maschine	156
7.4.2	Theorie zur indirekten Identifikation von linearen elastomechanischen Schwingungssystemen	156

7.4.3	Modellbildung der gesamten Maschine	164
7.4.4	Durchführung der Messungen	172
7.4.5	Identifikation der FE-Modelle der untersuchten Maschine	182
7.5	Integration des Kardangelenkmodells in das Modell der Maschine	196
7.6	Diskussion der Ergebnisse zu den dynamischen Untersuchungen	200
8	Zusammenfassung und Ausblick	209
	Literaturverzeichnis	215
	Anlagen	233
A1	Grundlagen modaler Transformation in der Strukturdynamik	233
A2	Simple-Matrix für direkte Identifikation des Schwingungsmodells des Versuchsstands	237
A3	Methoden zur Parameterschätzung	239
A3.1	Methode der kleinsten Fehlerquadrate	239
A3.2	Methode der gewichteten kleinsten Fehlerquadrate	240
A3.3	Bayes-Schätzung	242