

Frank Albertz

**Dynamikgerechter
Entwurf von
Werkzeugmaschinen-
Gestellstrukturen**

Mit 83 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York London Paris
Tokyo HongKong Barcelona Budapest 1995

Inhaltsverzeichnis

0	Tabelle der verwendeten Kurzzeichen und Indizes	V
0.1	Kleine und große lateinische Buchstaben.....	V
0.2	Kleine und große griechische Buchstaben.....	VII
0.3	Indizes.....	VIII
0.4	Mathematische Zeichen und Schreibweisen.....	IX
0.5	Abkürzungen	X
1	Einleitung	1
1.1	Problembeschreibung	1
1.2	Grundsätzliche Lösungsansätze.....	2
1.3	Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens in der Entwicklungsphase	4
1.3.1	Analyse des Istzustandes	4
1.3.2	Beschreibung des Sollzustandes.....	6
1.4	Zielsetzung und Arbeitsschwerpunkte.....	8
2	Stand der Forschung	11
2.1	Schwingungserscheinungen an Werkzeugmaschinen	11
2.2	Auswirkung der konstruktiven Gestaltung auf das dynamische Verhalten	13
2.3	Experimentelle Erfassung des dynamischen Verhaltens	14
2.4	Berechnung des dynamischen Verhaltens von Gestellstrukturen.....	16
2.5	Rechnergestützter Entwurf von Werkzeugmaschinen.....	20
3	CAD-gestützter Entwurf von Werkzeugmaschinen	23
3.1	Allgemeines	23
3.2	Phasen der Werkzeugmaschinenkonstruktion	23
3.3	CAD-Entwurfsmodelle für Werkzeugmaschinen.....	25
3.3.1	Komponenten von Werkzeugmaschinen.....	25

3.3.2	Geometrische Beziehungen zwischen den Komponenten	27
3.3.3	Anforderungen an CAD-Entwurfsmodelle	29
3.4	Parametrisierter 3D-Entwurf	30
3.5	CAD-Modellbildung in der Entwurfsphase	33
3.5.1	Grundsätzliche Entwurfsprinzipien.....	33
3.5.2	Entwicklung einer Entwurfsmethodik	34
3.5.3	Dimensionierung und Modifikation der Komponenten	38
3.6	Zusammenfassung	40
4	FEM-Modellbildung	41
4.1	Einführung.....	41
4.1.1	Problemstellung	41
4.1.2	Grundprinzip und Arbeitsschritte der FEM-Modellbildung	41
4.1.3	Einflußgrößen auf die Effizienz von FEM-Modellen	44
4.2	Idealisierung von Werkzeugmaschinen.....	45
4.2.1	Idealisierung der einzelnen Maschinenkomponenten	45
4.2.2	Berücksichtigung der Gesamtstruktur.....	48
4.3	Elementerzeugung für die Gestellkomponenten	49
4.3.1	Aufgaben bei der Erzeugung von FEM-Flächenmodellen	49
4.3.2	Einsatz eines abbildenden Verfahrens	50
4.3.3	Freie Vernetzungsverfahren	51
4.3.4	Vergleich und Auswahl.....	53
4.4	Erzeugung von Feder- und Massenelementen.....	55
4.5	Parameterermittlung für Fügestellen	57
4.5.1	Verfahren zur Parameterermittlung	57
4.5.2	Berechnung der Steifigkeit von Schraubenverbindungen.....	60
4.5.3	Experimentelle Parameterbestimmung für Lineareinheiten.....	63

4.6	Zusammenfassung	66
5	Berechnung des dynamischen Verhaltens	67
5.1	Allgemeines	67
5.2	Rechnerische Modalanalyse	69
5.2.1	Ermittlung modaler Parameter	69
5.2.2	Bestimmung von dynamischen Nachgiebigkeiten	71
5.2.3	Berücksichtigung des Dämpfungsverhaltens	73
5.3	Kinematische Reduktion von Maschinenschwingungen.....	75
5.3.1	Grundlagen der Raumkinematik	75
5.3.2	Bestimmung der Bewegungsparameter von Referenzflächen	78
5.3.3	Verbesserung der Genauigkeit und Verringerung der Fehlerempfindlichkeit	82
5.3.4	Programmsystem KINEMAT	85
5.4	Rechnerische Überprüfung von FEM-Modellen.....	86
5.4.1	Allgemeines	86
5.4.2	Untersuchung einer Teststruktur.....	86
5.4.3	Untersuchung einer Maschinenkomponente	89
5.5	Zusammenfassung	91
6	Beurteilung und Analyse des dynamischen Verhaltens.....	93
6.1	Einführung.....	93
6.2	Beurteilungskriterien	94
6.2.1	Schwingungserscheinungen an Werkzeugmaschinen.....	94
6.2.2	Bestimmung von Maximalverlagerungen bei Fremderregung	95
6.2.3	Fremderregung durch Unwuchtkräfte.....	96
6.2.4	Fremderregung durch Zahneintrittsstöße	99
6.2.5	Beurteilung der Ratterneigung	101

6.3	Hilfsmittel zur Analyse des Schwingungsverhaltens	109
6.3.1	Allgemeines	109
6.3.2	Zerspanstellendiagramme	110
6.3.3	Verformungsdiagramme	111
6.3.4	Verformungskennlinien	112
6.3.5	Auf die Zerspannstelle bezogene Verformungskennlinien	118
6.4	Sensitivitätsanalyse	120
6.4.1	Allgemeines	120
6.4.2	Anwendung der Sensitivitätsanalyse auf das dynamische Verhalten von Gestellstrukturen	122
6.5	Verbesserung des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen	126
7	Experimentelle Untersuchung des dynamischen Verhaltens	129
7.1	Zielsetzung, Problemstellung und Lösungsansatz.....	129
7.2	Beschreibung des Meßaufbaus und der Meßprogramme	130
7.3	Experimentelle Modalanalyse an der Zerspannstelle	132
7.4	Schwingungsformanalyse.....	136
7.5	Validierung eines FEM-Modells	138
8	Zusammenfassung und Ausblick	143
9	Literaturverzeichnis.....	147