

**Helmut Summer**

**Modell zur Berechnung  
verzweigter Antriebsstrukturen**

Mit 74 Abbildungen

**Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York Tokyo 1986**

## Inhaltsverzeichnis

Seite

0	<u>Zeichen, Einheiten</u>	V
0.1	Kleine und große lateinische Buchstaben	V
0.2	Kleine und große griechische Buchstaben	VII
0.3	Indizes	VIII
0.4	Hochgestellte Zeichen	IX
0.5	Vektoren und Matrizen	X
0.6	Mathematische Zeichen	XI
0.7	Abkürzungen	XII
1	<u>Einleitung</u>	1
2	<u>Einführung</u>	2
2.1	Allgemeines zur Auslegung im Maschinenbau	2
2.2	Steifigkeits-Auslegung bei Werkzeugmaschinen	4
3	<u>Problemstellung</u>	6
3.1	Antriebsstrukturen, Begriffe und Definitionen	6
3.2	Gesamtproblem	11
4	<u>Stand der Technik</u>	12
4.1	Modellbildung	12
4.2	Fehler bei den Systemparametern	15
5	<u>Ziel der Arbeit</u>	18
6	<u>Grundlegendes</u>	19
6.1	Systemverhältnisse	19
6.1.1	Systemverhältnisse bei mechanischen Strukturen	19
6.1.2	Mechanische Systemverhältnisse am einläufigen System	21
6.1.3	Freies, gedämpftes einläufiges System	24
6.1.4	Zwangserregtes, gedämpftes einläufiges System	26
6.2	Linearisierung bei den Matrizen-Methoden	28
6.3	Matrizen-Methoden	31
6.4	Grundsätzliches zur Idealisierung	32
6.5	Zusammenhänge zwischen Rotationen und Translationen	34
6.5.1	Eindimensionale Zusammenhänge	34
6.5.2	Linearer Federungsbereich	37
6.5.3	Nichtlineare Federungsverteilung	38
6.5.4	Kippkopplung durch exzentrische Kraft	39
6.6	Bedeutung der statischen Analyse	41

7	<u>Beispiel einer 4-Freiheitsgrade-Zahnradstufe</u>	42
7.1	Getriebespezifische Kopplungen	42
7.2	Herleitung der Federmatrix	44
7.3	Superposition von Elementen zum Gesamtsystem	49
8	<u>Koordinaten-Transformation</u>	52
8.1	Transformation von Belastungen und Verlagerungen	53
8.2	Transformation von Element-Matrizen	56
8.3	Richtungskosinus	57
8.4	Transformation bei 6 Freiheitsgraden	60
9	<u>Gesamt-Systemmatrizen</u>	63
9.1	Struktureller Aufbau	63
9.2	Physikalische Dimensionen und Einheiten	66
10	<u>Statische Analyse</u>	69
10.1	Lösung der Statik, Randbedingungen	69
10.2	Potential zur Analyse des elastischen Verhaltens	72
10.3	Darstellung der Verformungen	74
10.3.1	Übersetzungsreduktion und statisches Torsionsdiagramm	74
10.3.2	Anteile der Freiheitsgrade an Verformungen	78
10.3.3	Wellenbezogene Verformungsdarstellung	84
10.4	Statische Schnittgrößen	85
11	<u>Dynamische Analyse</u>	87
11.1	Reelles Eigenwertproblem	87
11.1.1	Eigenwerte und Eigenvektoren des konservativen Systems	87
11.1.2	Starrkörperverschiebung bei Antriebsstrukturen	89
11.1.3	Lösung des Eigenwertproblems	90
11.1.3.1	Überblick	90
11.1.3.2	Bandmatrizen-Algorithmen	91
11.1.4	Mehrfache und eng benachbarte Eigenwerte	93
11.2	Normierungen von Eigenvektoren	93
11.2.1	Eigenvektoren der Dimension 1	93
11.2.2	Systemnormierte Eigenvektoren, Kenn-Systemverhältnis-Wurzeln	96
11.2.2.1	Nachgiebigkeits-Normierung	98
11.2.2.2	Beweglichkeits-Normierung	98
11.2.2.3	Beschleunigbarkeits-Normierung	98
11.3	Entkopplung durch Diagonalisieren	99
11.3.1	Verallgemeinerte Orthogonalität der Eigenvektoren	99
11.3.2	Entkopplung des konservativen Systems	99
11.3.3	Entkopplung des freien, bedämpften Systems	101
11.3.4	Dämpfungsmatrizen in physikalischen Koordinaten	103
11.3.5	Interpretation diagonalisierbarer Dämpfungsmatrizen	105

11.4	Umrechnung systemnormierter Eigenvektoren	106
11.5	Modale Einmassenschwinger, Kenn-Systeme	109
11.5.1	Allgemeines	109
11.5.2	Konservatives Kenn-System	109
11.5.3	Zwangerregtes Kenn-System	110
11.5.4	Frequenzgang eines Kenn-Systems	112
11.5.5	Gegenüberstellung der Systemverhältnis-Amplitudengänge	115
11.6	Innere Kenn-Systemverhältnisse	118
11.6.1	Dynamische Eigenbelastung, Kenn-Eigenlast-Wurzeln	118
11.6.2	Dynamische Schnittgrößen, Kenn-Schnittgrößen-Wurzeln	121
11.7	Darstellung der dynamischen Verformbarkeiten	122
11.7.1	Kenn-Potential und dynamisches Torsionsdiagramm	122
11.7.2	Bezeichnung der Eigenschwingungen	125
12	<u>Kondensation von Freiheitsgraden</u>	127
12.1	Allgemeines zur Methode	127
12.2	Dynamische Kondensation	129
12.3	Statische Kondensation auf Elementebene	131
12.4	Fehler beim Kondensieren	132
13	<u>Element-Bibliothek</u>	134
13.1	Überblick und Einteilung	134
13.2	Einfache Federelemente	136
13.2.1	Absolut- und Relativfeder	136
13.2.2	Größenordnung von Federsteifigkeiten	137
13.3	Konzentrierte Massen	139
13.4	Balkenelemente	141
13.4.1	Verwendung und Anforderungen	141
13.4.2	Elementmatrizen	143
13.5	Kondensations-Balkenelemente	147
13.5.1	Datenreduzierende Modellbildung	147
13.5.2	Vorgehensweise	149
13.6	Übersetzungselemente	150
13.6.1	Überblick	150
13.6.2	Schrägverzahnte Stirnradstufe	152
13.6.3	Schneckenstufe	155
13.6.4	Riemenstufe	157
13.7	Wellen-Naben-Verbindungen	160
13.8	Wälzlagererelemente	160
13.8.1	Ausgangspunkt und Zielsetzung	160
13.8.2	Modellbildung	162

13.8.3	Kippsteifigkeiten	164
13.8.4	Radiale und axiale Federsteifigkeiten	165
13.8.5	Direkt erfaßte Lagerreihen und äußere Abmessungen	167
14	<u>Anwendungsrechnungen und Messungen</u>	168
14.1	Allgemeines zur Messung	168
14.2	Untersuchtes Schneckengetriebe	169
15	<u>Zusammenfassung</u>	179
16	<u>Literatur</u>	183
17	<u>Sachverzeichnis</u>	191