

Inhaltsverzeichnis

0.	Aufgaben und Gliederung der Maschinendynamik	
1.	Ermittlung der Kennwerte dynamischer Parameter	
1.1.	Einleitung	17
1.2.	Experimentelle Bestimmung von Massenkennwerten	17
1.2.1.	Zusammenstellung der Verfahren	17
1.2.2.	Statische Verfahren	18
1.2.3.	Pendelverfahren	20
1.2.4.	Torsionsschwingungsverfahren	23
1.2.5.	Bestimmung der Trägheitshauptachsen	26
1.2.6.	Hinweise zur Versuchsdurchführung	29
1.3.	Berechnung von Federkennwerten	30
1.3.1.	Torsionsfederkennwerte und reduzierte Längen	30
1.3.2.	Translationsfederkennwerte	35
1.3.3.	Gummifedern	38
1.4.	Dämpfungsansätze und -kennwerte	41
1.4.1.	Einleitung	41
1.4.2.	Ansätze für äußere Dämpfungen	42
1.4.3.	Werkstück- und Werkstoffdämpfung	44
1.4.4.	Dämpfungskennwerte	48
1.5.	Erfassung von Erregerparametern	49
1.5.1.	Periodische Erregungen	49
1.5.2.	Nichtperiodische Erregungen	52
1.6.	Experimentelle Bestimmung von Feder- und Dämpferkennwerten	55
1.6.1.	Übersicht	55
1.6.2.	Ausschwingversuch	56
1.6.3.	Erregte Schwingungen	60
1.6.4.	Auswertung mit Hilfe von Ortskurven	63
1.7.	Aufgaben A 1/1 bis A 1/5	69
1.8.	Lösungen L 1/1 bis L 1/5	71
2.	Dynamik der starren Maschine	
2.1.	Einleitung	75
2.2.	Bewegungsgleichung der starren Maschine	76
2.2.1.	Grundlegende Zusammenhänge	76
2.2.2.	Beispiele	80
2.2.2.1.	Hubwerksgetriebe (gleichmäßig übersetzendes Getriebe)	80
2.2.2.2.	Rapierantrieb einer Webmaschine (ungleichmäßig übersetzendes Getriebe)	81
2.2.2.3.	Bewegungsgleichung einer Großpresse	83
2.2.3.	Aufgaben A 2/1 bis A 2/3	84
2.2.4.	Lösungen L 2/1 bis L 2/3	86
2.3.	Bewegungszustände der starren Maschine	89
2.3.1.	Allgemeines	89
2.3.2.	Bewegung bei konservativem Kraftfeld	91
2.3.3.	Anlauf- und Bremsvorgänge	93
2.3.4.	Stationärer Betriebszustand, Ungleichförmigkeitsgrad und Schwungrad	94
2.3.5.	Beispiele	98

2.3.5.1.	Winkelabhängiges Antriebsmoment einer Rückholfeder	98
2.3.5.2.	Ungleichförmigkeitsgrad einer Presse	99
2.3.6.	Aufgabe A 2/4	103
2.3.7.	Lösung L 2/4	104
2.4.	Bestimmung der Gelenkkräfte und der Fundamentbelastung	104
2.4.1.	Technische Aufgabenstellung	104
2.4.2.	Berechnung der Lager- und Gelenkkräfte	105
2.4.3.	Berechnung der auf das Gestell wirkenden resultierenden Kräfte und Momente	107
2.4.3.1.	Allgemeines	107
2.4.3.2.	Berechnung der resultierenden Massenkkräfte und Massenmomente	108
2.4.4.	Beispiele	109
2.4.4.1.	Dynamische Gelenkkräfte in einem Nähmaschinengetriebe	109
2.4.4.2.	Webladenantrieb	110
2.4.5.	Aufgaben A 2/5 und A 2/6	114
2.4.6.	Lösungen L 2/5 und L 2/6	115
2.5.	Methoden des Massenausgleichs	116
2.5.1.	Aufgabenstellung	116
2.5.2.	Auswuchten starrer Rotoren	116
2.5.2.1.	Begriffe des Auswuchtens	116
2.5.2.2.	Statisches und dynamisches Auswuchten	118
2.5.3.	Massenausgleich von Koppelgetrieben	123
2.5.3.1.	Vollständiger Ausgleich	123
2.5.3.2.	Massenausgleich beim Schubkurbelgetriebe	127
2.5.3.3.	Bedingungen für den Ausgleich verschiedener Harmonischer bei Mehr- zylindermaschinen	128
2.5.3.4.	Optimaler Massenausgleich	130
2.5.4.	Aufgaben A 2/7 und A 2/8	131
2.5.5.	Lösungen L 2/7 und L 2/8	131
8.	Aufstellung der starren Maschine	
3.1.	Aufgabenstellung	133
3.2.	Dynamische Grundlagen der Fundamentierung bei periodischer Erregung	137
3.2.1.	Minimalmodelle mit periodischer Erregung	137
3.2.1.1.	Modellbeschreibung	137
3.2.1.2.	Modellberechnung für harmonische Erregung	138
3.2.2.	Eigenfrequenzen und Kopplungsfragen des Blockfundamentes mit 6 Frei- heitsgraden	143
3.3.	Ausführung periodisch erregter Fundamente	147
3.3.1.	Blockfundamente	147
3.3.1.1.	Ausführungsformen	147
3.3.1.2.	Ausführung des Fundamentblockes	149
3.3.1.3.	Steifigkeit von Fundamentfederungen	150
3.3.2.	Tragkonstruktionen	153
3.3.2.1.	Ausführungsformen	153
3.3.2.2.	Eigenfrequenzen von Stäben	155
3.4.	Fundamente mit Stoßbelastung	156
3.4.1.	Modellbeschreibung	156
3.4.2.	Dynamische Berechnung	158
3.5.	Beurteilungsmaßstäbe	161
3.5.1.	Allgemeines	161
3.5.2.	Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf den Menschen	162
3.5.3.	Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf Gebäude und Baugrund	163
3.5.4.	Beurteilung der Schwingungseinwirkung auf Maschinen	164
3.6.	Aufgaben A 3/1 bis A 3/3	165
3.7.	Lösungen L 3/1 bis L 3/3	166
4.	Torsionsschwingungen in Antriebssystemen	
4.1.	Einleitung	171

4.1.1.	Aufgaben und Modelle	171
4.1.2.	Das auf eine Welle reduzierte Berechnungsmodell, Bildwelle	173
4.1.3.	Reduktion des Kurbeltriebes	176
4.2.	Freie Schwingungen diskreter linearer Torsionssysteme	177
4.2.1.	Einleitung	177
4.2.1.1.	Aufgabenstellung	177
4.2.1.2.	Betrachtungen am Minimalmodell	177
4.2.2.	Matrizengleichungen für n Freiheitsgrade	182
4.2.3.	Prinzipielles zur Lösung der Matrizengleichung	185
4.2.4.	Übertragungsmatrizen für freie Schwingungen	186
4.2.5.	Abschätzung der niedrigsten Eigenfrequenz	194
4.2.6.	Aussagen der freien Schwingungen	196
4.2.7.	Aufgaben A 4/1 bis A 4/3	199
4.2.8.	Lösungen L 4/1 bis L 4/3	200
4.3.	Erzwungene Schwingungen diskreter linearer Torsionssysteme	204
4.3.1.	Periodische Erregung	204
4.3.1.1.	Aufgabenstellung	204
4.3.1.2.	Resonanzschaubild	205
4.3.1.3.	Energieverfahren für harmonische Erregung	208
4.3.1.4.	Allgemeine Matrizengleichung für harmonische Erregung	213
4.3.1.5.	Übertragungsmatrizen für harmonische Erregung	214
4.3.1.6.	Gegenüberstellung der Verfahren und Berücksichtigung periodischer Erregung	219
4.3.2.	Transiente Erregung	221
4.3.2.1.	Aufgabenstellung	221
4.3.2.2.	Konstantes und von der Winkelgeschwindigkeit abhängendes Erregermoment	223
4.3.2.3.	Zeitabhängiges Erregermoment	225
4.3.3.	Aufgaben A 4/4 bis A 4/6	230
4.3.4.	Lösungen L 4/4 bis L 4/6	230
4.4.	Tilger und Dämpfer in Antriebssystemen	234
4.4.1.	Aufgabenstellung	234
4.4.2.	Reduktion auf ein Modell mit zwei Freiheitsgraden	234
4.4.3.	Auslegung eines linearen Tilgers	235
4.4.4.	Auslegung eines federgefedelten Dämpfers	238
4.4.5.	Auslegung eines federlosen Dämpfers	240
5.	Biegeschwingungen	
5.1.	Zur Entwicklung der Problemstellung	244
5.2.	Grundlegende Zusammenhänge	245
5.2.1.	Rotierende symmetrische Welle mit Unwuchterregung	245
5.2.2.	Kritische Drehzahlen einer mit einer Scheibe besetzten Welle unter Berück- sichtigung der Kreiselwirkung	249
5.2.3.	Biegeschwingungen mit endlich vielen Freiheitsgraden	258
5.2.4.	Beispiel: Milchzentrifuge	260
5.2.5.	Aufgaben A 5/1 bis A 5/5	262
5.2.6.	Lösungen L 5/1 bis L 5/5	264
5.3.	Biegeschwingungen des massebelegten Balkens (Kontinuum)	266
5.3.1.	Allgemeine Zusammenhänge	266
5.3.2.	Prismatischer Balken auf zwei Stützen	267
5.3.3.	Eingrenzung der niedrigsten Eigenfrequenzen mit dem Verfahren von <i>Dunkerley</i>	268
5.3.4.	<i>Rayleigh</i> -Quotient (Energimethode)	271
5.3.5.	Beispiele: Abgesetzter Balken, konische Welle	272
5.3.6.	Aufgaben A 5/6 bis A 5/8	275
5.3.7.	Lösungen L 5/6 bis L 5/8	276
5.4.	Das Verfahren der Übertragungsmatrizen	277
5.4.1.	Grundgedanke des Verfahrens	277

5.4.2.	Berechnungsbeispiel: Maschinenwelle	280
5.5.	Probleme der Modellfindung	285
5.5.1.	Zur Erfassung der wesentlichsten Parameter	285
5.5.2.	Reduktion des Kontinuums auf ein diskretes Berechnungsmodell	286
5.5.3.	Einfluß der Gleitlagerung	290
5.5.4.	Beispiele: Ausleger eines Tagebau-Großgerätes, Ventilator, Schleifspindel	291
5.5.5.	Aufgabe A 5/9	294
5.5.6.	Lösung L 5/9	295
6.	Schwingungssysteme mit endlich vielen Freiheitsgraden	
6.1.	Einleitung	299
6.2.	Bewegungsgleichungen für die freien ungedämpften Schwingungen in Matrizenschreibweise	301
6.2.1.	Allgemeine Beziehungen, Ermittlung der Matrizen C , D , M	301
6.2.2.	Beispiele zur Aufstellung der Matrizen	306
6.2.3.	Aufgaben A 6/1 bis A 6/4	311
6.2.4.	Lösungen L 6/1 bis L 6/4	312
6.3.	Freie Schwingungen ungedämpfter Systeme	313
6.3.1.	Allgemeines	313
6.3.2.	Beispiel: Stoß auf ein Gestell	317
6.3.3.	Orthogonalität	324
6.3.4.	Hauptkoordinaten	325
6.3.5.	Aufgaben A 6/5 bis A 6/9	327
6.3.6.	Lösungen L 6/5 bis L 6/9	328
6.4.	Berechnung der Eigenfrequenzen und Eigenschwingformen	332
6.4.1.	Allgemeines	332
6.4.2.	Abschätzungen von <i>Dunkerley</i> und <i>Neuber</i>	336
6.4.3.	Iterationsverfahren, <i>Rayleigh</i> -Quotient und <i>Grammel</i> -Quotient	337
6.4.4.	Beispiel: Werkzeugmaschinen-gestelle	340
6.4.5.	Aufgaben A 6/10 bis A 6/13	343
6.4.6.	Lösungen L 6/10 bis L 6/13	344
6.5.	Einfluß von Masse- und Steifigkeitsveränderungen auf die Eigenfrequenzen	345
6.6.	Erzwungene Schwingungen ungedämpfter Systeme	346
6.6.1.	Einleitung	346
6.6.2.	Allgemeine Lösung	346
6.6.3.	Harmonische Erregung	348
6.6.4.	Belastung durch eine Kraft endlicher Dauer	352
6.6.5.	Beispiele: Maschinen-gestell, Schwingförderer	354
6.6.6.	Aufgaben A 6/14 bis A 6/17	356
6.6.7.	Lösungen L 6/14 bis L 6/17	357
6.7.	Gedämpfte Schwingungen	359
6.7.1.	Zur Erfassung der Dämpfung	359
6.7.2.	Freie gedämpfte Schwingungen	360
6.7.3.	Erzwungene gedämpfte Schwingungen	364
6.7.4.	Beispiel: Textilspindel	368
6.7.5.	Aufgaben A 6/18 bis A 6/20	370
6.7.6.	Lösungen L 6/18 bis L 6/20	372
7.	Probleme der Maschinendynamik mit speziellen Bewegungsgleichungen	
7.1.	Charakterisierung durch die Bewegungsgleichung	376
7.2.	Probleme, die durch autonome Bewegungsgleichungen beschrieben werden	377
7.3.	Probleme, die durch heteronome Bewegungsgleichungen beschrieben werden	382
7.3.1.	Erzwungene nichtlineare Schwingungen	382
7.3.2.	Parametererregte Schwingungen	385
	Anhang	392
	Literaturverzeichnis	402
	Sachwortverzeichnis	408