

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Definition einer Schwingung	1
1.2	Harmonische Schwingung, Sinusschwingung	2
1.2.1	Reelle Darstellung der harmonischen Schwingung	2
1.2.2	Dimensionslose Schreibweisen	4
1.2.3	Komplexe Darstellung harmonischer Schwingungen; Zeigerdiagramme	5
1.2.4	Zeiger und Zeigerdiagramme für Ableitungen	8
1.3	Allgemeine periodische Schwingung	9
1.3.1	Definition	9
1.3.2	Manipulation periodischer Funktionen	9
1.3.3	Harmonische Synthese	11
1.3.4	Harmonische Analyse periodischer Schwingungen	11
1.3.5	Zeitliche Mittelwerte und besondere Bezeichnungen	18
1.4	Nichtperiodische Schwingung	19
1.4.1	Fastperiodische Schwingung	19
1.4.2	Modulierte Schwingung	19
1.4.3	Schwebung	21
1.4.4	Exponentiell wachsende und schwindende Schwingung	23
1.5	Aufgaben	24

Teil I Starre Maschinen unter dynamischer Last (Freiheitsgrad Null)

2	Bodenkräfte einer Rüttelmaschine	29
2.1	Aufgabenstellung	29
2.2	Lösung	30
2.2.1	Allgemeines Lösungsvorgehen	30
2.2.2	Entwurf des Modells	30
2.2.3	Gleichgewichtsbedingungen	31
2.2.4	Beschaffen der Systemparameter	32

2.2.5	Rechnerprogramm	33
2.2.6	Rechenergebnis/Interpretation	33
2.2.7	Aufzeichnung	33
2.3	Aufgaben	34
3	Auswuchten starrer Rotoren	35
3.1	Aufgabenstellung	35
3.2	Modell	36
3.3	Gleichgewichtsbedingungen	36
3.3.1	Lageplan, Koordinaten, Kinematik	36
3.3.2	Schwerpunktbeschleunigung und Drall	37
3.3.3	Lagerkräfte	38
3.4	Diskussion der Lagerkräfte infolge Unwucht	39
3.5	Das Wuchten	41
3.6	Aufgaben	43
 Teil II Schwinger mit einem Freiheitsgrad		
4	Vertikalschwingungen eines Paares gekoppelter Exzenterpressen	47
4.1	Aufgabenstellung	47
4.2	Modell	47
4.2.1	Vereinfachende Annahmen	47
4.2.2	Die Stütz- oder Federelemente	48
4.2.3	Ersatzsystem	50
4.3	Massenkräfte	51
4.3.1	Allgemeine Bemerkungen zu den Massenkräften	51
4.3.2	Kinematik der Relativbewegungen	52
4.3.3	Kinetik der Relativbewegungen	53
4.4	Schwingungserregung durch bewegte Massen	54
4.4.1	Reduktion der Erregerkräfte	54
4.4.2	Zeitverlauf der Erregung; Fourier-Zerlegung	55
4.5	Gleichgewichtsbedingungen und Bewegungs-Differentialgleichung	57
4.5.1	Gleichgewicht	57
4.5.2	Die Bewegungs-(Differential-)Gleichung	58
4.6	Allgemeine Aussagen; Ergänzende Hinweise	59
4.6.1	Benennungen	59
4.6.2	Überlagerung von Lösungen	60
4.6.3	Schwinger mit negativer Dämpfung	60
4.6.4	Pendel als nichtlineare Schwinger	61
4.6.5	Allgemeine Bewegungsgleichung	62

4.7	Dimensionslose Schreibweise von Differentialgleichungen	63
4.7.1	Vorgabe von Bezugsgrößen	63
4.7.2	Systematische Bestimmung systemeigner Bezugsgrößen	64
4.8	Aufgaben	65
5	Freie Schwingungen	69
5.1	Bewegungsgleichung; Bemerkungen zur Nomenklatur	69
5.2	Lösen der Differentialgleichung	70
5.3	Ausdeuten der Lösung	71
5.3.1	Ungedämpfte Schwingung	71
5.3.2	Gedämpfte Schwingungen	73
5.4	Aufgaben	74
6	Erzwungene Schwingungen	77
6.1	Allgemeine Aussagen	77
6.2	Erzwungene harmonische Schwingungen	78
6.2.1	Komplexe Schreibweise der Bewegungsgleichung	78
6.2.2	Berechnen der erzwungenen Schwingung	79
6.2.3	Diagramme für Amplitudengang, Phasengang, Vergrößerungsfunktion	83
6.2.4	Der Frequenzgang der Übertragungsfunktion	85
6.2.5	Seismische Schwingungsaufnehmer	87
6.3	Das Arbeiten mit Stoßerregung und Stoßantwort	90
6.3.1	Die Delta-Funktion	90
6.3.2	Erregung durch einen Kraftstoß	91
6.3.3	Erregerkraft als Stoßfolge	93
6.4	Aufgaben	94
7	Erzwungene Schwingungen der Exzenterpressen	97
7.1	Wirkung der relativ bewegten Massen auf die Rahmenauslenkung	97
7.2	Wirkung der bewegten Bodenplatte	100
7.2.1	Passivisolierung	102
7.3	Wirkung der bewegten Massen auf den Boden	103
7.3.1	Aktivisolierung	104
7.4	Aufgaben	104
8	Einschwing- und Anlaufvorgänge	107
8.1	Einschwingvorgänge	108
8.1.1	Allgemeine Lösung der Bewegungsgleichung; Anpassen an die Anfangsbedingungen	108
8.1.2	Einschwingvorgang	109
8.2	Anlauf einer Erregung	110
8.2.1	Vorüberlegungen	110

8.2.2 Berechnen einer Einhüllenden	111
8.2.3 Erregeranlauf mit Resonanzdurchfahrt	112
8.2.4 Anlauf bei Unwuchterregung	115
8.3 Aufgaben	117

Teil III Diskrete Schwinger mit zwei und mehr Freiheitsgraden

9 Schwinger mit zwei Freiheitsgraden	121
9.1 Beispiele für Schwinger mit zwei Freiheitsgraden	121
9.2 Freie Schwingungen	123
9.2.1 Aufstellen der Bewegungsgleichungen	123
9.2.2 Matrizenschreibweise der Bewegungsgleichungen	124
9.2.3 Koppelglieder in den Bewegungsgleichungen	124
9.3 Lösen der Bewegungsgleichungen	125
9.3.1 Formelmäßiges Vorgehen	126
9.3.2 Freie Schwingungen: Zweimassenschwinger	127
9.3.3 Zahlenbeispiel	129
9.3.4 Freie Schwingungen: Torsionsschwinger	131
9.4 Erzwungene Schwingungen	132
9.4.1 Aufstellen der Bewegungsgleichungen	132
9.4.2 Erzwungene Schwingungen bei harmonischer Erregung	133
9.4.3 Erzwungene Schwingungen: Zweimassenschwinger	134
9.4.4 Erzwungene Schwingungen: Torsionsschwinger	136
9.5 Aufgaben	137
10 Modaltransformation als Hilfsmittel zur Schwingungsanalyse	141
10.1 Orthogonalität der Eigenschwingungsformen	141
10.1.1 Orthogonalitätsnachweis	141
10.1.2 Die Modalmatrix	143
10.1.3 Normieren	144
10.1.4 Orthogonalisieren	144
10.2 Transformation der Schwingungsgleichung auf Modalkoordinaten	145
10.3 Anwendungsbeispiel: Dämpfungsfreie erzwungene harmonische Schwingung	145
10.4 Anwendungsbeispiel Rayleigh-Dämpfung	146
10.5 Aufgaben	147
11 Dreh- und Torsionsschwingungen	149
11.1 Aufgabenstellung, Symbole	149
11.2 Drehschwingungen eines Systems mit einer Übersetzung	151
11.2.1 Aufstellen der Bewegungsgleichungen nach Lagrange	151
11.2.2 Lösen des Eigenwertproblems	153

11.2.3	Darstellung der Schwingungsformen	154
11.3	Reduktion von Drehschwingern mit Übersetzungen auf eine Welle	155
11.3.1	Reduktion des Drehschwingers auf die Welle 1	156
11.4	Erzwungene Drehschwingungen	157
11.4.1	Bewegungsgleichungen (nach Lagrange)	158
11.4.2	Zahlenbeispiel	160
11.5	Aufgaben	164
12	Der starr gelagerte Rotor mit einfacher Durchbiegung	167
12.1	Aufgabenstellung	167
12.2	Modell	167
12.3	Bewegungsgleichungen	169
12.3.1	Rotormasse	170
12.3.2	Rotorsteifigkeit	172
12.3.3	Dämpfungen	176
12.3.4	Bewegungsgleichungen	180
12.4	Erzwungene Schwingungen	180
12.4.1	Gewichtseinfluss	180
12.4.2	Unwuchteinfluss	181
12.5	Freie Schwingungen	182
12.6	Schlüsse aus den Untersuchungen	185
12.7	Aufgaben	187
13	Anisotrope Lagerungen	189
13.1	Aufgabenstellung	189
13.2	Modell	190
13.3	Steifigkeit des Lagerbocks	190
13.3.1	Berechnen der Lagersteifigkeiten nach dem ersten Satz von Castigliano (vgl. Anhang, Abschn. B.4)	191
13.3.2	Einbau eines Versteifungselements – der zweite Satz von Castigliano	193
13.4	Eigenschwingungen des Lagerbocks mit angehängter Masse	196
13.4.1	Modell und Bewegungsgleichungen	196
13.4.2	Eigenschwingungen des Lagerbocks	197
13.4.3	Der Einfluss von Dämpfung auf die Eigenschwingungen – allgemein	200
13.4.4	Schwach gedämpfte Eigenschwingungen des Lagerbocks	201
13.5	Erzwungene Schwingungen des Lagerbocks	203
13.5.1	Experimente: Aufgabe	203
13.5.2	Bewegungsgleichungen	204
13.5.3	Erzwungene Schwingungen	204
13.6	Aufgaben	213

14	Rotorsysteme	217
14.1	Die einfach besetzte Welle auf nachgiebigen Lagern	217
14.1.1	Das System	217
14.1.2	Das Modell	218
14.1.3	Numerische Beispiele	220
14.2	Rotoren mit aufgesetztem Kreisel	231
14.2.1	Kreiselwirkungen	231
14.2.2	Anwendungsbeispiel	235
14.2.3	Reelle Form der Kreisel-Bewegungsgleichungen	244
14.3	Aufgaben	245
 Teil IV Kontinua mit einem funktionalen Freiheitsgrad		
15	Mitschwingen der Wellenmasse bei Drehschwingungen	251
15.1	Aufgabenstellung	251
15.2	Freie Schwingungen	252
15.2.1	Herleiten der partiellen Dgl für die Drehschwingungen der Welle	252
15.2.2	Untersuchung der freien Schwingungen	253
15.2.3	Eigenlösungen	257
15.3	Erzwungene Schwingungen	260
15.4	Aufgaben	262
16	Diskretisieren des Kontinuums	265
16.1	Allgemeines	265
16.2	Das Arbeiten mit globalen Ansatzfunktionen	266
16.2.1	Vorbereitung für Lagrange-Gleichungen	266
16.2.2	Lagrange-Formalismus	268
16.2.3	Eigenschwingungen (Zahlenbeispiel)	269
16.3	Das Arbeiten mit lokalen Ansatzfunktionen	270
16.3.1	Die Ausgangsgleichungen	270
16.3.2	Ansatzfunktionen	271
16.3.3	Formales Auswerten der Integrale	273
16.3.4	Zahlenbeispiel	276
16.4	Aufgaben	277
17	Balken-Biegeschwingungen	281
17.1	Aufgabe: Schwingungen einer Kranbrücke	281
17.2	Die partiellen Differentialgleichungen der Balkenbiegung	282
17.2.1	Herleiten der Differentialgleichungen	282
17.2.2	Randbedingungen	283
17.3	Eigenschwingungen der Kranbrücke	285
17.3.1	Bereichsweise Wahl der Längskoordinate	285

17.3.2 Lösen der partiellen Differentialgleichung	286
17.3.3 Zwei kleine Orientierungsaufgaben	288
17.3.4 Rand- und Übergangsbedingungen bei der Kranbrücke	292
17.3.5 Das Eigenwertproblem	294
17.4 Diskretisieren des Kontinuums Balken	298
17.4.1 Das Arbeiten mit globalen Ansatzfunktionen	298
17.5 Schwingungen der Kranbrücke nach dem Lastabfall	303
17.5.1 Untersuchung des Lastabfalls mit globalen Ansatzfunktionen . . .	303
17.5.2 Untersuchungen des Lastabfalls mit den Eigenschwingungen des Balkens als Kontinuum	304
17.6 Aufgaben	308
A Einige Grundlagen aus der Kinetik	313
B Arbeitsaussagen aus der Elastostatik	341
C Energieverfahren	355
D Hinweise zu Schreibweisen	363
Literatur	371
Sachwortverzeichnis	375