

# Inhaltsverzeichnis

<b>EINFREIHEITSGRADSYSTEME</b>	<b>1</b>
1 Einführung	3
2 Schwingungen	7
2.1 Darstellung von Bewegungen .....	7
2.2 Übersicht auf die Schwingungsarten .....	9
2.3 Periodische Schwingungen .....	10
2.4 Nichtperiodische Schwingungen .....	15
3 Modellbildung für Starrkörpersysteme	18
3.1 Rheologische Modelle .....	18
3.2 Einwirkungen .....	21
4 Aufstellen von Bewegungsgleichungen	23
4.1 Übersicht auf die verschiedenen Verfahren .....	24
4.2 Synthetisches Aufstellen der Bewegungsgleichungen .....	27
4.3 Analytisches Aufstellen der Bewegungsgleichungen .....	34
5 Gesamtlösung linearer Bewegungsgleichungen	46
5.1 Linearisieren von Bewegungsgleichungen .....	46
5.2 Dimensionslose Schreibweise .....	47
5.3 Superposition verschiedener Teillösungen .....	48
5.4 Gesamtlösung .....	49
5.5 Unterscheidung der Schwingungen nach ihrer Entstehung .....	50
6 Freie Schwingungen	52
7 Erzwungene Schwingungen – periodisch	54
7.1 Konstante Last .....	54
7.2 Periodische Last .....	55
7.3 Lösung im Frequenzbereich .....	59
7.4 Stationäre Lösungen .....	62
8 Erzwungene Schwingungen – unperiodisch	64
8.1 Stoßanregung .....	65
8.2 Anregung mit der Resonanzfrequenz .....	66
8.3 Anwendungsbeispiele für das Duhamel–Integral .....	67

<b>MEHRFREIHEITSGRADSYSTEME</b>	<b>73</b>
9 Matrizenschreibweise	75
9.1 Das D'Alembert'sche Prinzip .....	76
9.2 D'Alembert'sches Prinzip in der Lagrange'schen Fassung .....	78
10 Systematisches Aufstellen der Systemmatrizen	80
10.1 Krafteinflusszahlen .....	80
10.2 Verallgemeinerung der Krafteinflusszahlen .....	84
10.3 Verformungseinflusszahlen .....	85
10.4 Verallgemeinerung der Verformungseinflusszahlen .....	89
11 Bewegungsgleichungen für Stabtragwerke	90
11.1 Dehnstäbe .....	90
11.2 Biegestäbe .....	99
11.3 Torsionsstäbe .....	108
12 Freie Schwingungen ungedämpfter Systeme	111
12.1 Lösungsweg für die Berechnung der freien Schwingungen .....	111
12.2 Anpassen der Lösung an die Anfangsbedingungen .....	118
12.3 Konvergenz der Näherungslösung bei Stabtragwerken .....	121
13 Entkopplung der Bewegungsgleichungen	125
14 Erzwungene Schwingungen – ungedämpft	127
14.1 Statische Belastung .....	127
14.2 Periodische Anregung .....	129
14.3 Unperiodische Anregung .....	134
14.4 Anpassen der Gesamtlösung an die Anfangsbedingungen .....	135
<b>GEDÄMPFTE SYSTEME</b>	<b>137</b>
15 Schwingungen in komplexer Darstellung	139
15.1 Harmonische Analyse periodischer Schwingungen .....	140
15.2 Fourier–Integral von unperiodischen Schwingungen .....	141
16 Modellierung kontinuierlicher Dämpfer	144
16.1 Rheologie der Dämpfungseigenschaften .....	144
16.2 Rayleigh–Dämpfung .....	147
16.3 Strukturdämpfung .....	149
16.4 Modal–Dämpfung .....	152
17 Freie gedämpfte Schwingungen	153
17.1 Die Eigenwerte .....	153
17.2 Die Eigenvektoren .....	156
17.3 Die vollständige Lösung .....	158
17.4 Anwendungen .....	159

---

18	Erzwungene Schwingungen in komplexer Schreibweise	166
18.1	Periodische Schwingungen .....	166
18.2	Unperiodische Schwingungen .....	170
19	Erzwungene Schwingungen von Systemen	172
19.1	Zeitkonstante Anregung .....	172
19.2	Periodische Anregung in reeller Schreibweise .....	175
19.3	Periodische Anregung in komplexer Schreibweise .....	179
20	Modal-Analyse bei Rayleigh-Dämpfung	182
20.1	Freie Schwingungen .....	183
20.2	Periodische Anregung in reeller Darstellung .....	184
20.3	Periodische Anregung in komplexer Darstellung .....	185
21	Modal-Analyse bei viskoser Dämpfung	186
21.1	Freie Schwingungen .....	186
21.2	Periodische Anregung in komplexer Darstellung .....	188
22	Reduktion der Zahl der Freiheitsgrade	190
22.1	Reduktion des Modal-Ansatzes .....	190
22.2	Restmode-Korrektur .....	192
22.3	Elimination von Freiheitsgraden .....	194
23	Modal-Synthese	196
23.1	Die Teilstruktur beim Weggrößenverfahren .....	197
23.2	Das Gesamtsystem beim Weggrößenverfahren .....	199
<b>ANWENDUNGEN</b>		<b>201</b>
24	Erdbebenanalyse von Tragwerken	203
24.1	Erdbebenwellen und Darstellung von Erdbeben .....	203
24.2	Berechnungsverfahren für Tragwerke .....	207
24.3	Das Antwortspektrenverfahren bei Mehrmassenschwinger .....	216
24.4	Sicherheitskonzepte .....	219
25	Analyse von Seilnetzen und Membranen	223
25.1	Einzelseile .....	223
25.2	Schwingungen von Seilnetzen .....	229
25.3	Schwingungen von Membranen .....	232
26	Einführung in die Aeroelastizität	239
26.1	Modellgleichungen und Kennwerte für das Strömungsfeld .....	240
26.2	Druckverteilung an Bauwerken aus Umströmung .....	243
26.3	Druckänderung aus Bewegung des Tragwerks .....	246
26.4	Bewegungsgleichungen des Tragwerks .....	247
26.5	Statische aeroelastische Phänomene .....	249
26.6	Dynamische aeroelastische Phänomene .....	253

---

26.7	Erzwungene Schwingungen .....	261
26.8	Zylindrische Bauteile im Strömungsfeld .....	261
26.9	Aufstellen und Lösung der Bewegungsgleichungen .....	266
27	Balkentragwerke unter wandernder Last	271
27.1	Modell für auf einem Balken gelagerte bewegte Massen .....	271
27.2	Modell für bewegte Massen auf Feder-Dämpfer-System .....	273
27.3	Modelle für das Schwingungsverhalten der Brücke .....	274
27.4	Lösungsverfahren .....	278
27.5	Schwingungsverhalten einer Zweifeld-Eisenbahnbrücke .....	278
27.6	Resonanznachweis nach DS 804 .....	281
28	Rotierende Systeme	285
28.1	Ortsvektor zum nichtverformten Rotorblatt .....	285
28.2	Ortsvektor zum verformten Rotorblatt .....	288
28.3	Beschleunigungen im Inertialsystem .....	291
28.4	Virtuelle Arbeit der Massenträgheiten .....	293
28.5	Rotorblatt mit starrer Festhaltung .....	298
28.6	Virtuelle Arbeiten aus Eigengewicht .....	302
28.7	Virtuelle Arbeiten aus Elastizität des Rotorblattes .....	303
28.8	Virtuelle Gesamtarbeiten .....	305
	<b>NUMERISCHE VERFAHREN</b>	<b>307</b>
29	Numerische Integration der Bewegungsgleichung	309
29.1	Analytische Lösung der Bewegungsgleichung .....	309
29.2	Näherung der Übertragungsmatrix für ein Zeitintervall .....	312
29.3	Qualität der Übertragungsmatrix .....	315
29.4	Genauigkeit der Approximation der Übertragungsmatrix .....	318
29.5	Anwendung der Sehnentrapezregel .....	326
29.6	Das Newmark-Verfahren .....	328
29.7	Generalized $\alpha$ -Verfahren .....	331
29.8	Hinweise zur Anwendung von Zeitintegrationsverfahren .....	334
30	Berechnung der Eigenwerte und Eigenvektoren	337
30.1	Der Rayleigh-Quotient .....	337
30.2	Berechnung des niedrigsten Eigenwertes .....	338
30.3	Berechnung höherer Eigenwerte .....	341
30.4	Simultane Berechnung mehrerer Eigenwerte .....	342
30.5	Auflösung benachbarter Gleichungssysteme .....	343
	<b>LITERATUR</b>	<b>345</b>
	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b>	<b>349</b>