

# 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 .....	67
8.3 Anwendungsbeispiele für das Duhamel–Integral .....	68
<b>MEHRFREIHEITSGRADSYSTEME</b>	<b>75</b>
9 Matrizenschreibweise	77
9.1 Das D'Alembert'sche Prinzip .....	79
9.2 D'Alembert'sches Prinzip in der Lagrange'schen Fassung .....	80

10 Systematisches Aufstellen der Systemmatrizen	82
10.1 Krafteinflusszahlen .....	82
10.2 Verallgemeinerung der Krafteinflusszahlen .....	86
10.3 Verformungseinflusszahlen .....	87
10.4 Verallgemeinerung der Verformungseinflusszahlen .....	91
11 Bewegungsgleichungen für Stabtragwerke	92
11.1 Dehnstäbe .....	92
11.2 Biegestäbe .....	101
11.3 Torsionsstäbe .....	110
12 Freie Schwingungen ungedämpfter Systeme	113
12.1 Lösungsweg für die Berechnung der freien Schwingungen .....	113
12.2 Anpassen der Lösung an die Anfangsbedingungen .....	120
12.3 Konvergenz der Näherungslösung bei Stabtragwerken .....	123
13 Entkopplung der Bewegungsgleichungen	127
14 Erzwungene Schwingungen – ungedämpft	129
14.1 Statische Belastung .....	129
14.2 Periodische Anregung .....	131
14.3 Unperiodische Anregung .....	136
14.4 Anpassen der Gesamtlösung an die Anfangsbedingungen .....	137
<b>GEDÄMPFTE SYSTEME</b>	<b>139</b>
15 Schwingungen in komplexer Darstellung	141
15.1 Harmonische Analyse periodischer Schwingungen .....	142
15.2 Fourier–Integral von unperiodischen Schwingungen .....	143
16 Modellierung kontinuierlicher Dämpfer	146
16.1 Rheologie der Dämpfungseigenschaften .....	146
16.2 Rayleigh–Dämpfung .....	149
16.3 Strukturdämpfung .....	151
16.4 Modal–Dämpfung .....	154
16.5 Caughey–Dämpfung .....	154
17 Freie gedämpfte Schwingungen	155
17.1 Die Eigenwerte .....	155
17.2 Die Eigenvektoren .....	158
17.3 Die vollständige Lösung .....	160
17.4 Anwendungen .....	161
18 Erzwungene Schwingungen in komplexer Schreibweise	168
18.1 Periodische Schwingungen .....	168
18.2 Unperiodische Schwingungen .....	172
19 Erzwungene Schwingungen von Systemen	174

19.1 Zeitkonstante Anregung .....	174
19.2 Periodische Anregung in reeller Schreibweise .....	177
19.3 Periodische Anregung in komplexer Schreibweise .....	181
20 Modal-Analyse bei Rayleigh–Dämpfung .....	184
20.1 Freie Schwingungen .....	185
20.2 Periodische Anregung in reeller Darstellung .....	186
20.3 Periodische Anregung in komplexer Darstellung .....	187
21 Modal-Analyse bei viskoser Dämpfung .....	188
21.1 Freie Schwingungen .....	188
21.2 Periodische Anregung in komplexer Darstellung .....	190
22 Reduktion der Zahl der Freiheitsgrade .....	192
22.1 Reduktion des Modal–Ansatzes .....	192
22.2 Restmode–Korrektur .....	194
22.3 Elimination von Freiheitsgraden .....	198
23 Modal–Synthese .....	201
23.1 Die Teilstruktur beim Weggrößenverfahren .....	202
23.2 Das Gesamtsystem beim Weggrößenverfahren .....	204
<b>ANWENDUNGEN</b> .....	<b>207</b>
24 Erdbebenanalyse von Tragwerken .....	209
24.1 Erdbebenwellen und Darstellung von Erdbeben .....	209
24.2 Berechnungsverfahren für Tragwerke .....	214
24.3 Das Antwortspektrenverfahren bei Mehrmassenschwinger .....	222
24.4 Sicherheitskonzepte .....	225
25 Analyse von Seilnetzen und Membranen .....	229
25.1 Einzelseile .....	229
25.2 Schwingungen von Seilnetzen .....	235
25.3 Schwingungen von Membranen .....	238
26 Einführung in die Aeroelastizität .....	245
26.1 Modellgleichungen und Kennwerte für das Strömungsfeld .....	246
26.2 Druckverteilung an Bauwerken aus Umströmung .....	249
26.3 Druckänderung aus Bewegung des Tragwerks .....	253
26.4 Bewegungsgleichungen des Tragwerks .....	255
26.5 Statische aeroelastische Phänomene .....	256
26.6 Dynamische aeroelastische Phänomene .....	260
26.7 Erzwungene Schwingungen .....	269
26.8 Zylindrische Bauteile im Strömungsfeld .....	269
26.9 Aufstellen und Lösung der Bewegungsgleichungen .....	274
26.10 Regen–Wind induzierte Schwingungen .....	279

27	Balkentragwerke unter wandernder Last	293
27.1	Modell für auf einem Balken gelagerte bewegte Massen .....	293
27.2	Modell für bewegte Massen auf Feder–Dämpfer–System .....	295
27.3	Modelle für das Schwingungsverhalten der Brücke .....	296
27.4	Lösungsverfahren .....	300
27.5	Schwingungsverhalten einer Zweifeld–Eisenbahnbrücke .....	300
27.6	Resonanznachweis nach DS 804 .....	303
28	Rotierende Systeme	307
28.1	Ortsvektor zum nichtverformten Rotorblatt .....	307
28.2	Ortsvektor zum verformten Rotorblatt .....	310
28.3	Beschleunigungen im Inertialsystem .....	313
28.4	Virtuelle Arbeit der Massenträgheiten .....	315
28.5	Rotorblatt mit starrer Festhaltung .....	320
28.6	Virtuelle Arbeiten aus Eigengewicht .....	324
28.7	Virtuelle Arbeiten aus Elastizität des Rotorblattes .....	325
28.8	Virtuelle Gesamtarbeiten .....	327
28.9	Windkraftanlagen .....	328
	<b>NUMERISCHE VERFAHREN</b>	<b>333</b>
29	Numerische Integration der Bewegungsgleichung	335
29.1	Analytische Lösung der Bewegungsgleichung .....	335
29.2	Näherung der Übertragungsmatrix für ein Zeitintervall .....	338
29.3	Qualität der Übertragungsmatrix .....	341
29.4	Genauigkeit der Approximation der Übertragungsmatrix .....	344
29.5	Anwendung der Sehnentrapezregel .....	352
29.6	Das Newmark–Verfahren .....	354
29.7	Generalized $\alpha$ –Verfahren .....	357
29.8	Hinweise zur Anwendung von Zeitintegrationsverfahren .....	360
30	Berechnung der Eigenwerte und Eigenvektoren	363
30.1	Der Rayleigh–Quotient .....	363
30.2	Berechnung des niedrigsten Eigenwertes .....	365
30.3	Berechnung höherer Eigenwerte .....	367
30.4	Simultane Berechnung mehrerer Eigenwerte .....	368
30.5	Auflösung benachbarter Gleichungssysteme .....	370
	<b>LITERATUR</b>	<b>371</b>
	<b>STICHWORTVERZEICHNIS</b>	<b>375</b>