

# 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>