

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Probleme und Aufgaben der Baudynamik	1
2. Maßsysteme - Regelwerke	5
2.1. Vorbemerkungen	5
2.2. Skalare und Vektoren - Begriffe und Zeichen	6
2.3. Basisgrößen	6
2.4. Begriff der Dimension	7
2.5. Abgeleitete Größen	7
2.6. Unterschied zwischen Masse und Gewicht	8
2.7. Bezug zum ehemaligen technischen Maßsystem	10
2.8. Regelwerke für Einheiten und Formelzeichen	11
2.9. Regelwerke zur Baudynamik	12
2.10. Bibliographische Hinweise	14
Schrifttum	14
3. Grundlagen der Dynamik	19
3.1. Körper und Bewegung - Definition von Masse und Massenträgheitsmoment	19
3.2. Kinematik der ebenen Bewegung in kartesischen, natürlichen und polaren Koordinaten	21
3.2.1. Theorie	21
3.2.2. Beispiele	27
3.3. Kinetik der Punktmasse	31
3.3.1. Kinetische Grundgesetze von NEWTON-Prinzip von D'ALEMBERT	31
3.3.2. Impulssatz	33
3.3.3. Beispiele	34
3.4. Kinetik der Starrkörpermasse	38
3.5. Energiesatz (Arbeitssatz)	41
3.5.1. Kinetische Energie bei translatorischer und rotatorischer Bewegung	41
3.5.2. Potentielle Energie	42
3.6.3. Energiesatz in abgeschlossenen und nicht abgeschlossenen Systemen	43
3.5.4. Beispiele	44
3.6. LAGRANGEsche Bewegungsgleichungen (2. Art)	51
3.6.1. Generalisierte Koordinaten q_i	51
3.6.2. Nichtkonservative und konservative Kräfte bzw. Systeme	53
3.6.3. Gravitationskraft und Federkraft und deren potentielle Energie	54
3.6.4. Generalisierte Kräfte Q_i	55
3.6.5. LAGRANGEsche Bewegungsgleichungen (2. Art)	56
3.6.6. Beispiele	57
3.7. Bewegungshemmung durch Reibung	64
3.7.1. Grundlagen der Festkörperreibung [5]	64
3.7.2. Beispiele und Zuschärfungen	67
3.7.3. Anhalte für Reibungszahlen	68
3.7.4. Fluidreibung	70
3.7.4.1. Viskosität	70

3.7.4.2. BERNOULLI-Gleichung	71
3.7.4.3. Strömungswiderstand	72
3.7.4.4. Beispiele	74
3.8. Dämpfung	76
3.8.1. Vorbemerkung	76
3.8.2. Modellbildung	77
3.8.3. Visko-elastisches Stoffverhalten bei sprunghafter Spannungs- bzw. Verzerrungs- änderung	79
3.8.3.1. MAXWELL-Modell (Bild 71a)	79
3.8.3.2. VOIGT-KELVIN-Modell (Bild 72a)	80
3.8.3.3. BURGER-Modell (Bild 73a)	81
3.8.3.4. Erweiterung der Modelle	82
3.8.4. Visko-elastisches Stoffverhalten bei harmonischer Spannungs- bzw. Verzerrungs- änderung: Viskose Dämpfung	82
3.8.4.1. HOOKE-Modell (Bild 75)	82
3.8.4.2. NEWTON-Modell (Bild 76)	82
3.8.4.3. MAXWELL-Modell (Bild 78)	83
3.8.4.4. VOIGT-KELVIN-Modell (Bild 80)	84
3.8.4.5. Komplexe Steifigkeit	86
3.8.5. Visko-elastisches Stoffverhalten im Versuch	87
3.8.6. Relaxationszeit/Retardierungszeit und ihre Spektren	88
3.8.7. Speicher- und Verlustmodul - Verlustfaktor	92
3.8.7.1. MAXWELL-Modell	92
3.8.7.2. VOIGT-KELVIN-Modell, Bild 96	96
3.8.7.3. Verallgemeinerte Modelle	96
3.8.8. Anmerkungen - Ergänzungen - Beispiele	98
3.8.9. Dissipation in Baukonstruktionen	100
3.8.9.1. Dissipation: Dämpfung - Duktilität	100
3.8.9.2. Hysteretische Dämpfung	104
3.8.9.3. Dämpfungswerte für Baukonstruktionen	108
3.8.9.4. Dämpfungsursachen	110
3.8.9.5. Nichtlineare Dämpfungsmodelle	112
3.8.9.6. Duktilitätsmodelle	118
3.8.9.7. Beispiele und Ergänzungen	121
Schrifttum	130
4. Bautechnische Anwendungen zur Dynamik (Einführung)	137
4.1. Massenmomente 2. Ordnung starrer Körper	137
4.1.1. Massenmomente 2. Ordnung ebener Starrkörper - Beispiele	137
4.1.2. Massenmomente 2. Ordnung beliebiger Starrkörper	145
4.2. Freie Fallbewegung - Absturzlasten	151
4.3. Flugbewegung von einer Sprungschanze aus - Bau und Betrieb von Sprungschanzen	152
4.3.1. Einführendes Beispiel	152
4.3.2. Schanzenbaunorm des Internationalen Skiverbandes - Grundlagen	153
4.3.3. Zur Theorie der aerodynamischen Skiflughahn-Berechnung	154
4.4. Fahrzustände auf Gleisen und Straßen im Bereich von Krümmungen - Fahrdynamische Trassierungselemente (Einführung)	156
4.4.1. Allgemeine Hinweise	156
4.4.2. Überfahren einer Kuppe - Durchfahren einer Wanne	156

4.4.3. Abschätzung des Schwingbeiwertes beim Überfahren einer Brücke	157
4.4.4. Überhöhung im Bahnbau	158
4.4.5. Fliehkräfte auf Eisenbahnbrücken	161
4.4.6. Überhöhung im Straßenbau	163
4.4.7. Übergangsrampe - Übergangsbogen	164
4.5. Fliegende Bauten	166
4.5.1. Allgemeine Hinweise	166
4.5.2. Hochgeschäfte mit schienengebundenen Fahrzeugen	167
4.5.3. Fliegerkarussell	171
4.5.4. Bodenkarsell	172
4.5.5. Karusselle mit mehreren Bewegungen	173
4.5.6. Riesenräder	176
4.6. Schwingungserregung durch Maschinen	177
4.6.1. Erregung durch Unwuchten	177
4.6.2. Erregung durch Kurbelantrieb	177
4.6.3. Schwingungserreger	180
4.7. Pendel - Pendelschwinger	180
4.7.1. Mathematisches Pendel	180
4.7.2. Luftschaukel (Schiffschaukel)	182
4.7.3. Physikalisches Pendel	183
4.7.4. Pendel für Schwingungsdämpfer	184
4.7.5. Krängungsschwingungen eines Pontons	185
4.7.6. Glockenschwingungen	186
4.8. Grundfrequenz einfacher Stabwerke	189
4.8.1. Einführung - Begriffe	189
4.8.2. Rückführung einfacher Stabwerke auf das Modell des einläufigen Schwingers	191
4.8.2.1. Grundfrequenzformel	191
4.8.2.2. Federzahl - Nachgiebigkeitszahl	192
4.8.2.3. Berechnung der Grundfrequenz aus der Eigenlastdurchbiegung	195
4.8.2.4. Überlagerungsformel nach DUNKERLEY	195
4.8.2.5. Einfacher Balken mit konstanter Massebelegung und mittlerer Punktmasse	197
4.8.2.6. Kragbalken mit konstanter Massebelegung und Punktmasse am freien Ende	201
4.8.2.7. Rechteckrahmen	203
4.8.3. Berechnung der Grundfrequenz einfacher Stabwerke mittels der RAYLEIGH-Formel	206
4.8.3.1. Berechnungsanweisung für biegesteife Balkenschwinger	206
4.8.3.2. Kragbalken mit konstanter Steifigkeits- und Massebelegung - Berücksichtigung des Einflusses Theorie II. Ordnung	208
4.8.3.3. Kragbalken mit zwei Stabbereichen konstanter Steifigkeits- und Massebelegung	210
4.8.3.4. Kragbalken mit konischer Erstreckung und unterschiedlichen Querschnittsformen	211
4.8.4. Berechnung der Grundfrequenz einfacher Stabwerke mittels der MORLEIGH-Formel	214
4.8.5. Iterative Zuschärfung	217
4.9. Eigenfrequenzen und Eigenformen ebener Stabwerke	220
4.9.1. Einführung	220
4.9.2. Schwinger mit einem Freiheitsgrad	223
4.9.2.1. Theorie	223

4.9.2.2. Beispiele	224
4.9.3. Schwinger mit zwei Freiheitsgraden	227
4.9.3.1. Theorie	227
4.9.3.2. Beispiele	229
4.9.4. Schwinger mit mehreren Freiheitsgraden	236
4.9.4.1. Frequenzdeterminante	236
4.9.4.2. Verfahren der Krafteinflußzahlen (VdK)	238
4.9.4.3. Verfahren der Verformungseinflußzahlen (VdK)	240
4.9.4.4. Erste Eigenform-Orthogonalität	241
4.9.4.5. Beispiele	242
4.9.5. Schwinger mit mehreren Freiheitsgraden in matrizieller Darstellung	247
4.9.5.1. Vorbemerkung	248
4.9.5.2. Verknüpfung von Steifigkeits- und Nachgiebigkeitsmatrix	248
4.9.5.3. Verfahren der Steifigkeitsmatrizen	249
4.9.5.3.1. Einführung	249
4.9.5.3.2. Erste und zweite Eigenform-Orthogonalität	249
4.9.5.3.3. Freie Schwingungen	251
4.9.5.3.4. Fremderregte Schwingungen	252
4.9.5.3.5. Beispiel: Zweimassenschwinger	252
4.9.5.4. RAYLEIGH-Quotient	257
4.9.5.5. Formeln nach SOUTHWELL und DUNKERLEY	259
4.10. Stoß - Stoßbelastung	262
4.10.1. Einteilung der Stoßeinwirkungen	262
4.10.2. Impuls - Impulsänderung	263
4.10.3. Aufprallstoß fester Körper	264
4.10.3.1. NEWTONsche Stoßtheorie	264
4.10.3.2. Beispiele zur NEWTONschen Stoßtheorie	268
4.10.3.3. Aufprallstoß auf elastisch reagierende Systeme	273
4.10.3.4. Beispiele zum Aufprallstoß auf elastisch reagierende Systeme	277
Schrifttum	279
5. Einfreiheitsgrad-Schwinger (EFS) mit linearen Systemeigenschaften	283
5.1. Vorbemerkungen	283
5.2. Freie Schwingungen des ungedämpften Systems	283
5.3. Freie Schwingungen des viskos gedämpften Systems	285
5.3.1. Bewegungslösung	285
5.3.2. Logarithmisches Dekrement	287
5.4. Erzwungene Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge harmonischer Erregung	290
5.4.1. Arten der Erregung	290
5.4.2. Bewegungsgleichungen bei Kraft-, Unwucht- und Basiserregung	290
5.4.3. Stationäre Schwingungen bei Krafterregung	292
5.4.3.1. Bewegungslösung	292
5.4.3.2. Zur Messung der Dämpfung	297
5.4.3.3. Energiebilanz, Arbeit und Leistung in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz	298
5.4.3.4. Dämpfungshysterese und spezifische Dämpfung	301
5.4.3.5. Zusammenfassung der Dämpfungskenngrößen bei viskoser Dämpfung	302
5.4.4. Stationäre Schwingungen bei Unwuchterregung	302
5.4.5. Stationäre Schwingungen	303

5.4.6. Beispiele und Ergänzungen	305
5.4.6.1. Krichschwingung	305
5.4.6.2. "Negative" Dämpfung	307
5.4.6.3. Arbeit und Leistung bei Unwucht - und Basiserregung	307
5.4.6.4. Schwingungsisolierung (Prinzip)	309
5.4.6.4.1. Vorbemerkungen	309
5.4.6.4.2. Aktive Schwingungsisolierung	310
5.4.6.4.3. Passive Schwingungsisolierung	312
5.4.6.4.4. Zahlenbeispiel	312
5.4.6.5 Seismische Aufnehmer	314
5.5. Erzwungene Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge periodischer Erregung	317
5.5.1. Lösung im Reellen	317
5.5.2. Lösung im Komplexen	318
5.5.3 Beispiele	319
5.6. Ein- und Ausschwingvorgänge des viskos gedämpften EFS-Systems	323
5.7. Erzwungene Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge periodischer Erregung	325
5.7.1. Vorbemerkungen	325
5.7.2. Schwingungen des ungedämpften EFS-System infolge impuls- und sprungartiger Erregung - Schwingungsanalyse im Zeitbereich	326
5.7.2.1. Lastarten - Lösungsschema	326
5.7.2.2. Einheitsimpuls $I = 1$ (Bild 61a)	327
5.7.2.3. Einheitssprung $F = 1$ (Bild 61b)	328
5.7.2.4. DUHAMEL-Faltungsintegrale	329
5.7.2.5. Rechteckimpuls	332
5.7.2.6. Sprungimpuls mit geradlinigem Abfall	333
5.7.2.7. Stoßspektrum (Schockspektrum)	334
5.7.2.8. Übertragungsverfahren	336
5.7.2.9. Basiserregung	337
5.7.3. Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge impuls- und sprungartiger Erregung - Schwingungsanalyse im Zeitbereich	337
5.7.3.1. Einflußfunktionen - DUHAMEL-Integrale	337
5.7.3.2. Übertragungsverfahren	339
5.7.4. Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge aperiodischer Erregung - Schwingungsanalyse im Frequenzbereich	345
5.7.4.1. Lösung im Reellen	345
5.7.4.2. Lösung im Komplexen	346
5.7.4.3. Berechnung der Schwingungsreaktion mittels der Diskreten FOURIER-Transformation (DFR/IDFR-DFT/IDFT)	350
5.8. Erzwungene Schwingungen des viskos gedämpften EFS-Systems infolge stochastischer Erregung	356
5.8.1. Vorbemerkungen	356
5.8.2. Schwingungsreaktion auf einen eindimensionalen Erregerprozeß	358
5.8.3. System mit geringer Dämpfung: Schmalbandige Schwingungsreaktion	360
5.8.4. Beispiel und Ergänzungen	361
5.9. EFS-Systeme mit hysteretischer Dämpfung	365
Schrifttum	366

6. Einfreiheitsgrad-Schwinger (EFS) mit nichtlinearen Systemeigenschaften	369
6.1. Vorbemerkungen - Aufgaben und Probleme	369
6.2. Differenzverfahren	372
6.3. Freie Schwingungen eines Körperpendels - Glockenschwingungen	373
6.4. Freie und fremderregte Schwingungen eines EFS mit nichtlinearer Federkennlinie	375
6.5. Hinweise zur analytischen Lösung nichtlinearer Schwingungen	379
6.6. Freie und fremderregte Schwingungen eines EFS mit kinematisch-nichtlinearer Rückstellwirkung	382
6.7. Freie fremderregte und selbsterregte Schwingungen eines EFS mit COULOMBScher Reibung	385
6.7.1. Bewegungsgleichung	385
6.7.2. Freie Schwingungen - Analytische Lösung	386
6.7.3. Freie Schwingungen - Numerische Lösung	388
6.7.4. Fremderregte Schwingungen - Numerische Lösung	391
6.7.5. Selbsterregte Schwingungen - Analytische Lösung	393
6.8. Physikalisch-nichtlineare Rückstellwirkung	396
Schrifttum	397
7. Mehrfreiheitsgrad-Schwinger (MFS) mit linearen Systemeigenschaften	399
7.1. Einleitung	399
7.2. Modalanalyse (Eigenformmethode)	401
7.2.1. Grundlagen des Verfahrens	401
7.2.2. Berechnung der Eigenlösung (Modalmatrizen)	402
7.2.3. Freie Schwingungen nach Einprägung von Anfangsauslenkung oder/und Anfangsgeschwindigkeiten	406
7.2.4. Durch dynamische Lasten induzierte Schwingungen	411
7.2.5. Durch Basiserregung induzierte Schwingungen	416
7.2.6. Stochastische Einwirkungen	422
7.2.7. Modale Dämpfung - Proportionale Dämpfung (RAYLEIGH-Dämpfung)	423
7.2.8. Anmerkungen - Ergänzungen - Beispiele	425
7.3. Direkte Integration der Bewegungsgleichungen	430
7.3.1. Vorbemerkungen	430
7.3.2. Zweifreiheitsgrad-Schwinger	431
7.3.3. Mehrfreiheitsgrad-Schwinger	434
7.4. Schnittgrößen	437
Schrifttum	440
8. Schwingungen biegeweicher Seile und Stangen	441
8.1. Einführung	441
8.2. Lineare Theorie der schwingenden Saite	442
8.3. Beispiele zur linearen Saitenschwingtheorie	444
8.4. Nichtlineare Theorie der schwingenden Saite	447
8.5. Schwingungstheorie durchhangbehafteter Seile	450
8.5.1. Vorbemerkungen	450
8.5.2. Grundgleichungen der allgemeinen Seilschwingungstheorie	451
8.5.3. Eigenschwingungen von Seilen mit geringem Durchhang	453
8.5.3.1. Grundgleichungssystem	453
8.5.3.2. Lösung des Grundgleichungssystems: Eigenschwingungen	456

8.5.3.3. Interpretation der Eigenschwingungslösungen	458
Schrifttum	463
9. Schwingungen der Stabtragwerke - Teil I: Basisverfahren	465
9.1. Vorbemerkungen	465
9.2. Einführung	465
9.3. Grundgleichung der Eigenschwingungen biegesteifer Stäbe und Stabwerke nach Theorie I und II. Ordnung	466
9.4. Eigenschwingungen biegesteifer Stäbe und Stabwerke nach I. Ordnung	468
9.4.1. Lösungssystem (Eigenlösung der homogenen Differentialgleichung)	468
9.4.2. Eigenfrequenzen und Eigenformen ebener Stabwerke	469
9.4.2.1. Differentialgleichungsverfahren	469
9.4.2.1.1. Hinweise zur Vorgehensweise	469
9.4.2.1.2. Starr eingespannter Stab mit freiem Ende	470
9.4.2.1.3. Grundstäbe	471
9.4.2.1.4. Drehfederelastisch eingespannter Stab mit freiem Ende	472
9.4.2.1.5. Dreh- und verschiebungsfederelastisch eingespannter Stab mit freiem Ende	474
9.4.2.1.6. Federelastisch gestützte Stäbe	475
9.4.2.2. Verfahren der Übertragungsmatrizen	476
9.4.2.2.1. Feldmatrix	476
9.4.2.2.2. Berechnungsmethodik	477
9.4.2.2.3. Beispiele	480
9.4.2.2.4. Anmerkungen - Ergänzungen	482
9.4.2.3. Kraftgrößenverfahren	487
9.4.2.3.1. Allgemeines	486
9.4.2.3.2. Stabenddrehwinkel	487
9.4.2.3.3. Beispiele	488
9.4.2.4. Verformungsgrößenverfahren	494
9.4.2.4.1. Einführung	494
9.4.2.4.2. Grundformeln für den beidseitig biegesteif angebundenen Stab (Bild 51)	495
9.4.2.4.3. Grundformeln für den einseitig biegesteig und einseitig gelenkig angebundene Stab	496
9.4.2.4.4. Grundformeln für den beidseitig gelenkig angebundenen Stab (Bild 54)	497
9.4.2.4.5. Grundformeln für den einseitig biegesteig angebundenen und einseitig freien Stab (Kragbalken)	497
9.4.2.4.6. Beispiele: Durchlaufträger und Rechteckrahmen (6 Beispiele)	498
9.4.2.4.7. Anmerkungen und Ergänzungen	508
9.4.3. Erste und zweite Eigenform-Orthogonalität	510
9.5. Schwingungen infolge Fremderregung	514
9.5.1. Vorbemerkungen	514
9.5.2. Modalanalyse (Eigenformmethode)	516
9.5.2.1. Grundlagen des Verfahrens - Harmonische Erregung	516
9.5.2.2. Beispiel: Kragträger	517
9.5.2.3. Durch aperiodische Lasten induzierte Schwingungen	519
9.5.2.4. Beispiele und Ergänzungen	522
Schrifttum	

10. Schwingungen der Stabtragwerke - Teil II: Sonderfragen	529
10.1. Vorbemerkungen	529
10.2. Eigenschwingungslösung für unterschiedliche Stabformen - Biegeschwingungen	529
10.2.1. Einführung	529
10.2.2. Eigenbiegeschwingungen des schubstarrten Stabes	530
10.2.2.1. Grundgleichung des schubstarrten Stabes	530
10.2.2.2. Eigenschwingungen des längskraftfreien Stabes (Th. I. Ordn.)	532
10.2.2.3. Eigenschwingungen des durch konstante Längskraft belasteten Stabes (Th. II. Ordn.)	534
10.2.2.3.1. Einleitung	534
10.2.2.3.2. Lösung der Grundgleichung bei Einwirkung einer konstanten Druckkraft	535
10.2.2.3.3. Grundstäbe - Stabwerke bei Einwirkung einer konstanten Druckkraft	536
10.2.2.3.4. Übertragungsmatrix und Steifigkeitsmatrix bei Einwirkung einer konstanten Druckkraft	539
10.2.2.3.5. Stabschwingungen bei Einwirkung einer konstanten Zugkraft	540
10.2.2.4. Einfluß der Drehträgeit	541
10.2.2.5. Elastische Bettung	542
10.2.3. Eigenbiegeschwingungen des schubweichen Stabes	543
10.2.3.1. Grundgleichung des schubweichen Stabes	543
10.2.3.2. Eigenschwingungen des beiderseitig gelenkig gelagerten Stabes	548
10.2.3.3. Zur allgemeinen Lösung des Eigenschwingungsproblems schubweicher Stäbe	553
10.3. Längs- und Torsionsschwingungen	554
10.4. Erzwungene Schwingungen - Komplexe Steife	557
10.4.1. Einführung	557
10.4.2. Komplexe Steife - Hysteretische Dämpfung	557
10.4.3. Stabwerksschwingungen mit hysteretischer Dämpfung	559
10.4.4. Beispiel	565
Schrifttum	567
11. Finite Methoden der Tragwerksberechnung	569
11.1. Vorbemerkungen	569
11.2. Finite-Differenzen-Methode (FDM)	569
11.2.1. Methodik	569
11.2.2. Einstellen-Differenzenformeln	570
11.2.3. Randbedingungen der Stabbiegetheorie I. und II. Ordnung	571
11.2.4. Beispiele	573
11.3. Finite Element-Methode (FEM)	577
11.3.1. Allgemeines	577
11.3.2. Herleitung der Elementmatrizen - Basiskonzept	578
11.3.3. Zug-Druck-Stab	581
11.3.4. Biegestab	583
11.3.4.1. Ermittlung der Matrizen \mathbf{L} , \mathbf{B} und \mathbf{E}	583
11.3.4.2. Element - Steifigkeitsmatrix	585
11.3.4.3. Element - Massenmatrix	586
11.3.4.4. Element - Belastungsmatrix	586
11.3.4.5. Ergänzungen	586
11.3.5. Beispiel	588
Schrifttum	591

12. Aerodynamische Schwingungsanregung	593
12.1. Vorbemerkungen	593
12.2. Wind - Windkräfte	593
12.2.1. Windsysteme (Bild 1)	593
12.2.2. Atmosphärische Grenzschicht - Windgeschwindigkeit	595
12.2.3. Extremwertverteilung der Starkwinde	597
12.2.4. Berechnungswind - Lastannahmen - Aerodynamische Beiwerte	599
12.3. Böeninduzierte Schwingungen	600
12.3.1. Einleitung: Böenreaktionsfaktor	600
12.3.2. Böenreaktionsfaktor - Deterministische Modellierung	601
12.3.3. Böenreaktionsfaktor - Stochastische Modellierung im Zeitbereich	602
12.3.4. Böenreaktionsfaktor - Stochastische Modellierung im Frequenzbereich	604
12.3.4.1. Intensität und Spektrum der Windturbulenz	604
12.3.4.2. Übertragungstheorie - Berechnungskonzept	610
12.3.4.3. Anmerkungen	614
12.4. Wirbelinduzierte Schwingungen	616
12.4.1. Das strömungsmechanische Phänomen der Wirbelstraße	616
12.4.2. Potentialtheoretisch simulierte Wirbelstraße	618
12.4.3. Zur Entwicklung des baupraktischen Querschwingungsnachweises	621
12.4.4. Nachweis der Querschwingungen mittels der Modalanalyse (Eigenformmethode)	624
12.4.5. Schadensfall und Schlußfolgerungen	629
12.4.6. Aerodynamische Gegenmaßnahmen	633
12.4.7. Schornsteine in Gruppenanordnung	634
12.4.8. Ovalling	635
12.4.9. Wirbelinduzierte Schwingungen als Stabilitätsproblem	636
12.4.9.1. Vorbemerkungen	636
12.4.9.2. Struktur-Fluid-Oszillator	637
12.4.9.3. Querschwingungen stabförmiger Strukturen mit scharfkantigem Profil	639
12.5. Bewegungsinduzierte Schwingungen	640
12.5.1. Vorbemerkungen	640
12.5.2. Galloping - Biegeschwingungen	641
12.5.2.1. Einsetzgeschwindigkeit	641
12.5.2.2. Anmerkungen und Ergänzungen	644
12.5.3. Flatterschwingungen	645
12.5.3.1. Einsetzgeschwindigkeit	645
12.5.3.2. Anmerkungen und Ergänzungen	648
Schrifttum	649
13. Seismische Schwingungserregung (Erdbeben)	657
13.1 Ursache und Verteilung von Erdbeben	657
13.2 Kennzeichnung der Starkbeben	660
13.2.1 Vorbemerkungen	660
13.2.2 Seismologische Kennzeichnung der Beben	660
13.2.3 Bautechnische Kennzeichnung der Beben	664
13.2.3.1 Einführung	664
13.2.3.2 Antwortspektrum	664
13.2.3.3 Leistungsspektrum	670
13.3 Bautechnische Regelwerke - Berechnungsgrundlagen	670

13.3.1 Vorbemerkungen	670
13.3.2 DIN 4149 (07.57)	670
13.3.3 DIN 4149 (04.81)	671
13.3.4 KTA 2201 (06.90)	671
13.3.5 Entwurf EUROCODE 8 (ENV 1998, 10.94)	672
13.4 Antwortspektrum-Verfahren	674
13.4.1 Vorbemerkungen	674
13.4.2 Einfreiheitsgradsysteme (EFSe)	674
13.4.3 Mehrfreiheitsgradsysteme (MFSe)	675
13.5 Baupraktische Berechnungskonzepte	683
13.6 Bauliche Ausbildung	685
Schrifttum	686
14. Bewertung dynamischer Materialbeanspruchung	693
14.1. Vorbemerkungen	693
14.2. WÖHLER-Linie-Smith-Diagramm	693
14.3. Konzepte zum Nachweis der Dauer- (Schwing-)festigkeit	694
14.3.1. Nennspannungskonzept	694
14.3.2. Kerbspannungskonzept	695
14.3.3. Strukturspannungskonzept	696
14.3.4. Kerbgrundkonzept	697
14.3.5. Bruchmechanikkonzept	699
14.4. Konzepte zum Nachweis der Betriebs- (Schwing-)festigkeit	700
Schrifttum	703
15. Bewertung von Vibrationen (Schall, Lärm, Erschütterungen, Schwingungen, Stöße)	705
15.1. Vorbemerkungen	705
15.2. Einführung in die Theorie des ebenen Wellenfeldes	705
15.2.1. Ausbreitungsgeschwindigkeit eines ebenen Wellenfeldes	705
15.2.2. Wellenwiderstand	709
15.2.3. Energetische Größen im Wellenfeld	710
15.2.4. Wellen-Strahlungsdruck	711
15.2.5. Energieabsorption innerhalb eines Wellenfeldes	712
15.3. Kugel- und zylinderförmige Wellenfelder	713
15.4. Schallwellen	713
15.4.1. Spektrale Darstellung der Feldgrößen	713
15.4.2. Schallpegel	714
15.4.3. Lautstärkepegel und bewerteter Schallpegel	717
15.4.4. Beispiele und Ergänzungen	719
15.4.5. Lautheit und Lästigkeit von Lärm	720
15.5. Erschütterungen	723
15.5.1. Einführung	723
15.5.2. Erschütterungseinwirkungen auf Menschen	724
15.5.2.1. Allgemeine Hinweise - VDI-Ri 2057	724
15.5.2.2. DIN 4150 T2: Einwirkung auf Menschen in Gebäuden	727
15.5.3. Erschütterungseinwirkungen auf Einrichtungen und Maschinen	730
15.5.4. Erschütterungseinwirkungen auf Gebäude und Gebäudeteile	730
Schrifttum	731

16. Stahl- und Elastomer-Federn	737
16.1. Allgemeines	737
16.2. Stahlfedern	739
16.2.1. Federstahl	739
16.2.2. Zylindrische Druckfedern	740
16.2.3. Zylindrische Zugfedern	744
16.2.4. Tellerfedern	744
16.3. Elastomer-Federn	745
16.3.1. Werkstoff	745
16.3.2. Shore-Härte/Statischer Schub- und Elastizitätsmodul	747
16.3.3. Statische Federeigenschaften	749
16.3.3.1. Schubfedersteifigkeit	749
16.3.3.2. Druckfedersteifigkeit	750
16.3.3.3. Formelsammlung für einfache Elastomer-Federn	751
16.3.4. Dynamische Federeigenschaften - Dämpfung	751
16.3.5. Experimenteller Befund	754
16.3.6. Hinweise zur Ausführung von Elastomer-Federn	756
16.4. Feder-, Dämpfungs- und Dämm-Materialien	758
16.5. Beispiele und Ergänzungen: Maschinenfundamente Schrifttum	758 762
17. Maschinenfundamente	765
17.1. Aufgabenstellung	765
17.2. Grundlagen schwingungsisolierter Maschinenfundierungen	766
17.3. Erregerkräfte periodisch arbeitender Maschinenanlagen	769
17.3.1. Vorbemerkungen	769
17.3.2. Kritische Drehzahl elastischer Wellen	770
17.3.3. Von rotierenden Wuchtkörpern ausgehende Kräfte - Unwucht - Auswuchtgüte	772
17.3.4. Geradeschub - Kurbelantrieb - Zylindermaschinen	774
17.3.5. Beispiele und Ergänzungen	777
17.4. Erregerkräfte nicht-periodisch arbeitender Maschinenanlagen	784
17.5. DIN 4024	784
17.6. Blockfundamente	784
17.6.1. Vorbemerkungen	784
17.6.2. Federgestützte, doppelt-symmetrische Blockfundamente	785
17.6.3. Federungs- und Dämpfungswerte unterschiedlicher Lagermittel	789
17.6.4. Federungs- und Dämpfungswerte bodengestützter Fundamente	790
17.6.4.1. Wechselwirkung zwischen Fundament und Boden	790
17.6.4.2. Elementare Ansätze nach RAUSCH und EHLERS	791
17.6.4.3. Ansätze nach der Halbraumtheorie	792
17.6.5. Beispiele und Ergänzungen	795
17.6.6. Auslegung tiefabgestimmter Maschinenfundamente	803
17.6.6.1. Allgemeine Auslegungshinweise	803
17.6.6.2. Auslegung der Federung	805
17.7. Tischfundamente (Turbinenfundamente)	808
17.8. Hammerfundamente	809
17.8.1. Fundamentformen	809

17.8.2. Berechnungsansätze	810
17.8.3. Beispiel	813
Schrifttum	814
18. Schwingungsdämpfer	821
18.1. Einleitung - Begriffe	821
18.2. Schwingungsdämpfer - Passive Systeme	821
18.2.1. Schwingungsdämpfer mit viskoser Dämpfungscharakteristik	821
18.2.1.1. Theorie - Parameterstudien	821
18.2.1.2. Schwingungstilger	827
18.2.1.3. Optimierungskriterien	828
18.2.1.4. Federloser Dämpfer	831
18.2.2. Konstruktive Ausführung von Schwingungsdämpfern	832
18.2.2.1. "Kinetisch äquivalente" Masse	832
18.2.2.2. Bemessung und Ausbildung der Feder- und Dämpferelemente	834
18.2.3. Beispiele	838
18.2.4. Ergänzungen	845
18.3. Schwingungsdämpfer - Aktive Systeme	846
Schrifttum	847
19. Fußgängerbrücken	851
19.1. Vorbemerkungen	851
19.2. Biomechanik des Gehens und Laufens	851
19.3. Gruppen- und Synchronisationseffekt	854
19.4. Verträglichkeitsgrenzen	856
19.5. Berechnungsvorschlag	858
19.6. Beispiele	860
19.7. Fußgängerbauwerke	862
Schrifttum	863
20. Brückendynamik	867
20.1. Schwingfaktor j - Annäherung an die Problemstellung	867
20.1.1. Erste Annäherung an das Problem	867
20.1.2. Zweite Annäherung an das Problem	868
20.1.3. Dritte Annäherung an das Problem	868
20.1.4. Vierte Annäherung an das Problem	870
20.2. Historische Anmerkungen	871
20.3. Zum baupraktischen Ansatz des Schwingfaktors j	874
20.3.1. Vorbemerkungen	874
20.3.2. Eisenbahnbrücken	875
20.3.3. Straßenbrücken	878
20.3.3.1. Allgemeines	878
20.3.3.2. Grundfrequenz von Straßenbrücken	879
20.3.3.3. Einflußparameter auf den Schwingbeiwert	880
20.4. Beispiele	881
Schrifttum	896
21. Ergänzende Kapitel zur Baudynamik - Teil I	901
21.1. Sprödbruch in redundanten Tragwerken (Kapitel 1)	901
21.1.1. Stoßbeanspruchung nach Bruch eines Bauteils	901