

- 1 Aufbau von Maschinen mit rotierenden Wellen p. 1
- 1.1 Einleitung p. 1
- 1.2 Laufunruhe bei starren und biegeelastischen Rotoren unter Unwucht; Instabilität und Selbsterregung p. 6
- 1.3 Zur mathematischen Behandlung p. 14
- 1.4 Zeittafel p. 15
- Der starre Rotor
- 2 Auswuchten starrer Körper p. 17
- 2.1 Einleitung p. 17
- 2.2 Fliehkraftbilanz p. 19
- 2.3 Auswuchten ohne Testgewichtssetzungen-Kräfte messendes Wuchten in harten Lagern p. 23
- 2.4 Auswuchten in drei Läufen, Betriebswuchten-Wege messendes Wuchten in weichen Lagern p. 24
- 2.5 Wuchtmaschinen p. 28
- 2.6 Zur Meßtechnik p. 29
- 2.7 Zulässige Restunwuchten und Restschwingungen p. 31
- 2.8 Fragen p. 35
- Der Lavalläufer-Wälzlagerung
- 3 Der dämpfungsfreie Lavalläufer in starren Lagern p. 37
- 3.1 Überblick p. 37
- 3.2 Der unwuchtige Lavalläufer-freie und erzwungene Schwingungen p. 39
- 3.3 Der Lavalläufer mit Schlag und Unwucht p. 53
- 3.4 Darstellung in komplexen, raumfesten Koordinaten p. 58
- 3.5 sDarstellung in mitrotierenden Koordinaten p. 64
- 3.6 Zusammenfassung und Generalisierung p. 68
- 3.7 Fragen p. 73
- 4 Lavalläufer mit innerer und äußerer Dämpfung p. 75
- 4.1 Übersicht p. 75
- 4.2 Äußere Dämpfung p. 75
- 4.3 Innere Dämpfung p. 83
- 4.4 Innere und äußere Dämpfung p. 87
- 4.5 Mechanismen der inneren Dämpfung p. 92
- 4.6 Zusammenfassung, praktische Konsequenzen p. 98
- 4.7 Fragen p. 100
- 5 Der Lavalläufer in orthotrop-elastischen Lagern p. 101
- 5.1 Übersicht p. 101
- 5.2 Der ungedämpfte orthotrop gelagerte Läufer p. 102
- 5.2.1 Die Bewegungsdifferentialgleichungen und ihre Lösung p. 102
- 5.2.2 Gleichlauf und Gegenlauf p. 105
- 5.2.3 Biegebeanspruchungen der Welle bei Gleichund Gegenlauf p. 108
- 5.3 Innere Dämpfung, äußere Dämpfung und die Verbesserung der Stabilität durch Lagerorthotropie p. 110
- 5.4 Zusammenfassung, Generalisierung p. 114
- 5.5 Fragen p. 117
- 6 Der Lavalläufer mit Lagerdämpfung aus Gummi-Elementen p. 119

- 6.1 Einleitung p. 119
- 6.2 Mechanisches Modell p. 120
- 6.3 Bewegungsgleichungen, Stabilität p. 121
- 6.4 Unwuchterzwungene Schwingungen p. 126
- 6.5 Verlustfaktor-und Steifigkeitsermittlung von O-Ringen p. 129
- 6.6 Fragen p. 131
- 7 Verhalten des Lavalläufers in der kritischen Drehzahl und die beschleunigte Fahrt durch die Resonanz p. 133
- 7.1 Einleitung p. 133
- 7.2 Auswandern der Welle in der kritischen Drehzahl p. 133
- 7.3 Zur Phänomenologie der instationären Resonanzdurchfahrt p. 138
- 7.4 Die Bewegungsgleichungen bei instationärem Betrieb und ihre Lösung p. 141
- 7.5 Starker Antrieb oder geringe Exzentrizität-voile Kraft voraus p. 143
- 7.6 Schwacher Antrieb oder hohe Exzentrizität-der Hängenbleiber p. 145
- 7.7 Verallgemeinerung p. 147
- 7.8 Fragen p. 148
- 8 Einschwingverhalten des Lavalläufers bei plötzlicher Unwucht-Schaufelbruch p. 149
- 8.1 Einleitung p. 149
- 8.2 Die Bewegungsgleichungen p. 149
- 8.3 Lösung der Bewegungsgleichungen p. 152
- 8.4 Diskussion der Lösungen p. 153
- 8.5 Fragen p. 158
- 9 Einfluß der Kreiselwirkung p. 159
- 9.1 Übersicht p. 159
- 9.2 Bewegungsgleichungen p. 162
- 9.3 Freie Wellenschwingungen p. 168
- 9.4 Unwuchterzwungene Wellenschwingungen p. 174
- 9.5 Biegekritische Drehzahlen bei gegenläufiger Erregung p. 182
- 9.6 Anisotrop elastisch gelagerter Rotor unter Kreiselwirkung p. 188
- 9.7 Fragen p. 190
- Mehrscheiben-und Kontinuumsrotoren-Wälzlagerung
- 10 Kritische Drehzahlen und Unwuchtantwort von Mehrscheiben und Kontinuumsrotoren p. 191
- 10.1 Einleitung p. 191
- 10.2 Der Mehrscheibenrotor p. 191
- 10.3 Der Kontinuumsrotor p. 201
- 10.4 Dämpfungseinfluß bei wälzgelagerten Rotoren p. 205
- 10.5 Fragen p. 206
- 11 Der Einfluß von Schubelastizität und Kreiselwirkung auf die Kritischen Drehzahlen der glatten Welle und des Vielscheibenrotors p. 207
- 11.1 Zur Modellbildung p. 207
- 11.2 Bewegungsgleichungen, homogene Lösungen p. 210
- 11.3 Drehzahlabhängige Eigenfrequenzen und kritische Drehzahlen einer schlanken Welle und einer mit vielen Scheiben besetzten Welle p. 213
- 11.4 Notwendige Nachschrift p. 215
- 11.5 Fragen p. 216

- Rotoren in Gleitlagern
- 12 Gleitlagertheorie p. 217
- 12.1 Einleitung p. 217
- 12.2 Die Reynolds-Differentialgleichung und die Randbedingungen p. 220
- 12.3 sLösung der Reynoldsgleichung p. 224
- 12.4 sLinearisierung der Ölfilmkräfte, Feder-und Dämpfungszahlen p. 227
- 12.5 Statische und dynamische Eigenschaften des kurzen Kreislagers p. 229
- 12.5.1 Vereinfachungen beim kreiszylindrischen Kurzlager p. 229
- 12.5.2 Kraft-Bewegungsgesetz p. 230
- 12.5.3 Die Ortskurve der statischen Ruhelage des Wellenzapfens p. 232
- 12.5.4 Feder-und Dämpfungskonstanten des Ölfilms p. 235
- 12.5.5 Dynamische Nachgiebigkeit des Ölfilms p. 240
- 12.6 Statische und dynamische Eigenschaften von Gleitlagern mit anderen Geometrien p. 242
- 12.7 Fragen p. 250
- 13 Der horizontale Läufer in Gleitlagern p. 251
- 13.1 Einleitung p. 251
- 13.2 Der starre Läufer in Gleitlagern p. 252
- 13.2.1 Die Bewegungsgleichungen p. 253
- 13.2.2 Eigenschwingungen, Stabilität des starren Läufers in Gleitlagern p. .255
- 13.2.3 Unwuchterzwungene Schwingungen des starren Läufers in Gleitlagern p. 260
- 13.3 Der elastische Läufer in Gleitlagern p. 268
- 13.3.1 Die Bewegungsgleichungen p. 268
- 13.3.2 Eigenschwingungen, Stabilität des elastischen Läufers in Gleitlagern p. 270
- 13.3.3 Unwuchterzwungene Schwingungen des elastischen Läufers in Gleitlagern p. 277
- 13.4 Fragen p. 282
- 14 Der vertikale Rotor in Gleitlagern p. 283
- 14.1 Einleitung p. 283
- 14.2 Der starre Rotor in Gleitlagern p. 285
- 14.2.1 Bewegungsgleichungen p. 285
- 14.2.2 Unwuchterzwungene Schwingungen p. 286
- 14.2.3 Unwuchterzwungene Schwingungen für den starren Rotor in kreiszylindrischen Kurzlagern p. 289
- 14.2.4 Stabilität der Kreisbahnen beim kreiszylindrischen Kurzlager p. 291
- 14.2.5 Unwuchterzwungene Schwingungen des starren Rotors in Kippsegmentlagern p. 294
- 14.3 Der elastische Lavalläufer in Gleitlagern p. 296
- 14.3.1 Bewegungsgleichungen p. 296
- 14.3.2 sUnwuchterzwungene Schwingungen p. 298
- 14.3.3 Unwuchterzwungene Schwingungen des Lavalläufers in kreiszylindrischen Kurzlagern p. 301
- 14.3.4 Die Stabilität der Kreisbahnen p. 306
- 14.4 Fragen p. 308
- 15 Quetschöldämpfer p. 309
- 15.1 Einleitung p. 309

- 15.2 Dynamische Eigenschaften von Quetschdämpfern, Kraft-Bewegungsgesetze p. 312
- 15.2.1 Dämpfungskonstanten nach der Kurzlagertheorie p. 313
- 15.2.2 Dämpfungskonstanten nach der Breitlagertheorie p. 319
- 15.3 Der starre Läufer in Quetschdämpfern p. 322
- 15.3.1 Bewegungsgleichungen p. 323
- 15.3.2 Unwuchterzwungene Schwingungen des starren Läufers in kurzen Quetschdämpfern-ohne Kavitation p. 324
- 15.3.3 Unwuchterzwungene Schwingungen des starren Rotors in kurzen kavitierenden Quetschdämpfern; nicht-lineare Rechnung p. 327
- 15.4 Beispiele industrieller Anwendung p. 329
- 15.5 Fragen p. 332
- Magnetisch gelagerte Rotoren
- 16 Permanentmagnetische Lagerung von Rotoren p. 333
- 16.1 Einleitung p. 333
- 16.2 Kräfte und Steifigkeiten von Permanentmagnet-Lagern p. 334
- 16.3 Das magnetische Dipolmodell p. 339
- 16.4 Das Strombelagsmodell p. 344
- 16.5 Steifigkeiten einfacher, ringförmiger, permanentmagnetischer Lager p. 345
- 16.6 Starrer Rotor in permanentmagnetischen Lagern p. 352
- 16.7 Bauformen, Skalierungsregeln p. 356
- 16.8 Levitron-ein Beispiel für die vollständige permanentmagnetische Lagerung eines Rotors p. 357
- 16.9 Fragen p. 358
- 17 Der starre Rotor in aktiven Magnetlagern p. 359
- 17.1 Einleitung p. 359
- 17.2 Aufbau eines aktiven Magnetlagers p. 360
- 17.3 Die Systemgleichungen von Magnetlager, Regler und Rotor bei PD-Rückführung p. 363
- 17.4 Lösung der Bewegungsgleichungen, Systemverhalten bei PD-Regelung p. 365
- 17.5 Systemverhalten bei Integralrückführungen p. 368
- 17.6 Regelungsziele, Schaltungen von Magnetlagern p. 370
- 17.7 Kippfreiheitsgrade p. 373
- 17.8 Fragen p. 374
- 18 Der elastische Läufer in aktiven Magnetlagern p. 375
- 18.1 Einleitung p. 375
- 18.2 Einsatz als aktives Hilfssystem p. 375
- 18.3 Zweifache Magnetlagerung eines elastischen Rotors p. 377
- 18.4 Schlußbemerkung p. 381
- Unrunde und zeitvariante Systeme
- 19 Die unrunde Welle p. 383
- 19.1 Einleitung p. 383
- 19.2 Bewegungsdifferentialgleichungen und Lösungen p. 385
- 19.3 Die unrunde Welle in orthotroper Lagerung p. 397
- 19.4 Die unrunde Welle in Gleitlagern p. 403
- 19.5 Fragen p. 404

- 20 Der zweiflüglige Propeller p. 405
- 20.1 Einleitung p. 405
- 20.2 Mechanisches Modell, Bewegungsgleichungen p. 405
- 20.3 Homogene Lösung und Stabilität des ungedampften Systems p. 409
- 20.4 Dämpfungseinfluß auf die Stabilität p. 413
- 20.5 sUnwuchterzwungene Schwingungen p. 414
- 20.6 Schlußbemerkung p. 417
- 20.7 Fragen p. 419
- 21 Der Lavalläufer mit angerissener Welle p. 421
- 21.1 Einleitung p. 421
- 21.2 Ein einfaches Rissmodell p. 421
- 21.3 Die Bewegungsgleichungen und ihre Linearisierung bei horizontaler Welle-der atmende Riss p. 427
- 21.4 sStabilität p. 430
- 21.5 Erzwungene Schwingungen p. 433
- 21.5.1 Risserzwungene Schwingungen p. 433
- 21.5.2 Unwucht-und Rissantwort p. 439
- 21.6 Schlußbemerkung p. 440
- 21.7 Fragen p. 440
- Rotor-Fluid-Interaktion
- 22 Berührungslose Flüssigkeitsdichtungen p. 443
- 22.1 Einleitung p. 443
- 22.2 Modellbildung und Lösungsansätze für fluid-dynamische Berechnungen p. 447
- 22.3 Das Bulk-Flow-Modell p. 449
- 22.3.1 Grundgleichungen der Bulk-Flow-Theorie p. 450
- 22.3.2 Lösungswege zur Berechnung p. 453
- 22.4 Parameterstudie an einem glatten Dichtspalt p. 460
- 22.5 Einflusstudien an einer Laval-Welle p. 466
- 22.6 Schlußbemerkung p. 476
- 22.7 Fragen p. 477
- 23 Berührungslose Gasdichtungen p. 479
- 23.1 Einleitung p. 479
- 23.2 Kräfte in Gasdichtungen p. 481
- 23.3 Einteilung bertührungsloser Gasdichtungen p. 482
- 23.4 Funktionsprinzip einer Labyrinthdichtung p. 484
- 23.5 Modellbildung und Losungsansatze p. 486
- 23.5.1 Berechnung der Leckage p. 486
- 23.5.2 Berechnungsverfahren für die rotordynamischen Koeffizienten p. 490
- 23.6 Einflußgrößen auf die rotordynamischen Koeffizienten p. 495
- 23.7 Anwendungsbeispiel: Hochdruckkompressor p. 503
- 23.7.1 Vorgegebenes Datenmaterial für den Radialkompressor p. 503
- 23.7.2 Berechnung der Labyrinthdichtungen p. 505
- 23.7.3 Untersuchung der Eigenschwingungen mit der FE-Methode p. 507
- 23.8 Fragen p. 509
- 24 Spalterregung in Turbinen-Thomas-Kräfte p. 511
- 24.1 Einleitung p. 511

- 24.2 Ansatz für die Spalterregungskräfte-Modellbildung p. 512
- 24.3 Der lokale Wirkungsgradverlust $\zeta_{sp}(\zeta)$ p. 515
- 24.4 Die Spalterregungskonstante k_s p. 518
- 24.5 Die destabilisierende Wirkung der Spalterregung p. 518
- 24.6 Fragen p. 520
- 25 Luftkraftsteifigkeiten und-dämpfungen von Windturbinen und die Gondelwhirl-Stabilität p. 521
- 25.1 Einleitung p. 521
- 25.2 Luftkraftsteifigkeit und-dämpfung p. 523
- 25.3 Systematische Ermittlung der Propeller-Derivativa p. 526
- 25.4 Mechanisches Modell des elastisch gebetteten Triebstranges p. 528
- 25.5 Gondelstabilität einer größeren Windkraftanlage p. 530
- 25.6 Stabilitätsgrenze formelmäßig p. 533
- 25.7 Schlußbemerkung p. 535
- 25.8 Fragen p. 536
- Rotor-Stator-Berührung
- 26 Der sanft anstreichende Rotor p. 537
- 26.1 Einleitung p. 537
- 26.2 Die Bewegungsgleichungen p. 541
- 26.3 Lösung der elasto-thermischen Bewegungsgleichung p. 546
- 26.4 Diskussion der Anstreich-Lösung-das Spiralen p. 548
- 26.5 Stabilität der Spirale p. 549
- 26.6 Periodendauer der Spirale p. 551
- 26.7 Beispiel Turbokompressor p. 552
- 26.8 Schlußbemerkung p. 553
- 26.9 Fragen p. 554
- 27 Die harte Statorberührung-Fanglager p. 555
- 27.1 Einleitung p. 555
- 27.2 Resonanzpassage mit im Fanglager anliegendem Rotor p. 557
- 27.3 Kinematisches Rückwärtsrollen-dry friction whirl p. 563
- 27.4 Die Bewegungsgleichungen bei Rotor-Stator-Berührung p. 567
- 27.5 Plötzlicher Schaufelverlust mit anschließendem Anstreifen der Welle-digitale Simulation p. 568
- 27.6 Schlußbemerkung p. 572
- 27.7 Fragen p. 573
- Rotor-Fundament-Interaktion
- 28 Verschiebung der kritischen Drehzahlen des Rotors durch Einfluß von Gehäuse-und Fundamentdynamik p. 575
- 28.1 Einleitung p. 575
- 28.2 Verschiebung der Eigenfrequenzen durch Lager-und Bocknachgiebigkeiten p. 576
- 28.3 Genauere Betrachtung der Rotor-Fundament-Interaktion p. 580
- 28.4 Fragen p. 586
- 29 Ausnutzung der Fundamentdämpfung zur Beruhigung der Rotorschwingungen-die Abstimmung ζ_R