

# Inhalt

## Vorwort zur 2. Auflage — V

- 1      Einleitung — 1**
- 2      Differentialgleichungen erster Ordnung — 8**
- 3      Homogene und inhomogene lineare Differentialgleichung erster Ordnung — 12**
- 4      Der funktionale Zusammenhang zweier physikalischer Größen — 15**
  - 4.1      Potentielles Wachstum — 15
  - 4.2      Exponentielles Wachstum — 17
  - 4.3      Exponentiell beschränktes Wachstum — 18
  - 4.4      Logistisches Wachstum — 20
- 5      Kompartimentmodelle — 25**
- 6      Numerisches Lösen von Differentialgleichungen erster Ordnung — 31**
- 7      Differentialgleichungen zweiter Ordnung — 35**
  - 7.1      Physikalische Systemumgebungen — 37
  - 7.2      Beispiele zu den Bewegungsgleichungen — 38
- 8      Die Verformungen eines Festkörpers — 54**
  - 8.1      Dehnung und Stauchung am Stab — 55
  - 8.2      Die elastischen Konstanten eines isotropen Körpers — 61
- 9      Elastische, viskose und plastische Materialien — 68**
  - 9.1      Ideal-viskose Fluide — 68
  - 9.2      Visko-elastische Stoffe und Modelle — 70
- 10     Statische Auslenkungen einer vorgespannten Saite — 79**
- 11     Balkenbiegungen — 83**
  - 11.1     Biegelinien — 85
- 12     Schwingungen — 103**
  - 12.1     Das ungedämpfte Federpendel — 103
  - 12.2     Das gedämpfte Federpendel — 106

<b>13</b>	<b>Numerisches Lösen von Differentialgleichungen zweiter Ordnung — 111</b>
13.1	Das Fadenpendel — 113
13.2	Das physikalische Pendel — 114
13.3	Das Torsionspendel — 117
<b>14</b>	<b>Erzwungene Schwingungen — 123</b>
<b>15</b>	<b>Gekoppelte Pendel — 133</b>
15.1	Die Schwebung — 135
15.2	Schwingungstilger ohne Dämpfung — 137
<b>16</b>	<b>Partielle Differentialgleichungen — 142</b>
16.1	Darstellung von eindimensionalen Wellen — 143
16.2	Die Wellengleichung der ungedämpft schwingenden Saite — 145
16.3	Die Bernoulli-Lösung für eine freie Saitenschwingung — 150
16.4	Erzwungene Saitenschwingungen ohne Dämpfung — 161
16.5	Modalanalyse — 165
<b>17</b>	<b>Die Wellengleichung für Longitudinalschwingungen eines Stabs — 173</b>
17.1	Freie Longitudinalschwingungen eines Stabs — 174
17.2	Erzwungene Longitudinalschwingungen eines Stabs — 178
17.3	Die Wellengleichung für Torsionsschwingungen eines kreisrunden Stabs — 183
17.4	Die Wellengleichung für Scher- oder Schubschwingungen eines Stabs — 184
<b>18</b>	<b>Die Gleichung für Biegeschwingungen eines Balkens — 187</b>
18.1	Euler'sche Knicklast ohne Eigengewicht — 191
18.2	Euler'sche Knicklast mit Eigengewicht — 195
18.3	Biegeschwingungen ohne Dämpfung und Last — 199
18.4	Biegeschwingungen ohne Rotationsträgheit und Last — 207
18.5	Biegeschwingungen ohne Dämpfung, Rotationsträgheit und Last — 208
18.6	Freie Biegeschwingungen ohne Rotationsträgheit — 209
18.7	Erzwungene Biegeschwingungen eines Balkens — 215
18.8	Biegeschwingungen mit verteilten Massen — 218
<b>19</b>	<b>Die Gleichung für Schwingungen einer Membran — 224</b>
19.1	Schwingungen der Rechtecksmembran ohne Last — 226
19.2	Erzwungene Schwingungen der Rechtecksmembran — 229
19.3	Schwingungen der Kreismembran ohne Last — 234
19.4	Erzwungene Schwingungen der Kreismembran — 238

**20 Die Plattengleichung — 242**

- 20.1 Die Plattengleichung für Rechtecksplatten — 244
- 20.2 Die Lösung für die allseitig gelenkig gelagerte Rechtecksplatte — 247
- 20.3 Die Lösung der Plattengleichung für Kreisplatten — 250
- 20.4 Die Gleichung für Biegeschwingungen einer Platte — 253
- 20.5 Freie Biegeschwingungen der Rechtecksplatte — 254
- 20.6 Erzwungene Biegeschwingungen der Rechtecksplatte — 257

**21 Wärmetransporte — 261**

- 21.1 Stationäre Wärmeleitung für drei Grundkörper — 262
- 21.2 Quantitative Erfassung der Konvektion — 267
- 21.3 Kombination von Wärmeleitung und Konvektion — 267

**22 Instationäre Wärmeleitung ohne innere Wärmequellen — 275**

- 22.1 Lösungen der instationären Wärmeleitungsgleichung — 278
- 22.2 Die instationäre Lösung für die Platte mit Randbedingung 1. Art — 282
- 22.3 Die instationäre Lösung für die Platte mit Randbedingung 3. Art — 286
- 22.4 Die instationäre Lösung für die Kugel mit Randbedingung 1. Art — 289
- 22.5 Die instationäre Lösung für die Kugel mit Randbedingung 3. Art — 293
- 22.6 Die instationäre Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 1. Art — 295
- 22.7 Die instationäre Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 3. Art — 298
- 22.8 Instationäre Wärmeleitung mit Randbedingung 2. Art — 300
- 22.9 Die Lösung für die Platte mit Randbedingung 2. Art — 301
- 22.10 Die Lösung für den Zylinder mit Randbedingung 2. Art — 304
- 22.11 Die Lösung für die Kugel mit Randbedingung 2. Art — 307

**23 Instationäre Wärmeleitung bei nicht konstanter Starttemperatur — 311****24 Näherungslösungen für die Reihenlösung — 315**

- 24.1 Erstes Glied der Reihenlösung — 315
- 24.2 Der ideal gerührte Behälter — 318
- 24.3 Der halbusendliche Körper — 322
- 24.4 Zusammenfügen zweier halbusendlicher Körper — 335

**25 Wärmeleitung mit innerer Wärmequelle — 339****26 Wärmeübertragung mit Rippen — 343****27 Wichtige Kennzahlen und Größen der Wärmeübertragung — 348**

- 27.1 Die Nusselt-Zahl — 348
- 27.2 Die Reynolds-Zahl — 348
- 27.3 Der hydraulische Durchmesser — 350

- 27.4 Die Prandtl-Zahl — **352**
- 27.5 Die Nusselt-Zahl für durchströmte Rohre — **352**
  
- 28 Gleich- und Gegenstromwärmeüberträger — 359**
  
- 29 Wärmestrahlung — 367**
  - 29.1 Strahlungsübertragung — **368**
  - 29.2 Kombination von Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung — **372**
  - 29.3 Der ideal gerührte Behälter bei Strahlung — **372**
  - 29.4 Der ideal gerührte Behälter bei Konvektion und Strahlung — **375**
  
- 30 Strömungen — 382**
  - 30.1 Reibungsfreie Rohrströmungen — **382**
  - 30.2 Die Kontinuitätsgleichung — **383**
  - 30.3 Die Euler-Gleichung und die Bernoulli-Gleichung — **385**
  - 30.4 Die Impulsbilanz am Stromfaden — **396**
  - 30.5 Ausfluss- und Entleerungszeiten — **410**
  
- 31 Wirbelströmungen — 415**
  - 31.1 Rotation und Zirkulation einer Strömung — **417**
  
- 32 Potentialströmungen — 424**
  - 32.1 Stromlinien und Stromfunktion — **427**
  
- 33 Lösungen von Potentialströmungen — 432**
  - 33.1 Die erste Grundlösung: Die Translationsströmung — **432**
  - 33.2 Die zweite Grundlösung: Die Quellströmung — **432**
  - 33.3 Überlagerung von Translations- und Quellströmung — **434**
  - 33.4 Überlagerung von Translations-, Quell- und Senkeströmung — **437**
  - 33.5 Die dritte Grundlösung: Die Dipolströmung — **441**
  - 33.6 Überlagerung von Translations- und Dipolströmung — **442**
  - 33.7 Die vierte Grundlösung: Der Potentialwirbel — **445**
  - 33.8 Überlagerung von Potentialwirbel und Quell- bzw. Senkeströmung — **446**
  - 33.9 Überlagerung von Zylinderumströmung und Potentialwirbel — **447**
  
- 34 Keil- und Eckströmungen — 450**
  
- 35 Reibungsbehaftete Rohrströmungen — 453**
  - 35.1 Die Bernoulli-Gleichung für reibungsbehaftete Rohrströmungen — **453**
  - 35.2 Laminare Strömungen — **455**
  - 35.3 Turbulente Rohrströmungen — **458**

**36 Gerinneströmungen – 1. Teil — 461**

- 36.1 Energielinie und Wasserspiegel bei konstantem Abfluss — 462
- 36.2 Trennung der Fließarten — 465
- 36.3 Veränderung der Wassertiefe und Geschwindigkeit bei einer Sohlschwelle — 466
- 36.4 Die Massen- und Impulsbilanz einer Gerinneströmung — 468
- 36.5 Der Wechselsprung — 470
- 36.6 Die Wehrüberströmung — 473
- 36.7 Die Unterströmung eines Schützes — 478
- 36.8 Fließformeln — 483
- 36.9 Bemessungen von Gerinnequerschnitten — 487
- 36.10 Das Spannungs- und Geschwindigkeitsprofil einer laminaren Gerinneströmung — 488

**37 Zusammenfassung der bisherigen Strömungen — 493****38 Die Navier-Stokes-Gleichung — 494**

- 38.1 Analytische Lösungen der Navier-Stokes-Gleichung — 496

**39 Die Grenzschichtgleichungen — 535**

- 39.1 Die Grenzschicht einer parallel angeströmten Platte — 538
- 39.2 Die Herleitung der Grenzschichtgleichungen — 542
- 39.3 Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für eine parallel angeströmte Platte — 547
- 39.4 Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für Keilströmungen — 557
- 39.5 Grenzschichtablösungen — 562
- 39.6 Die Grenzschichtgleichungen in integraler Form — 567
- 39.7 Näherung des Geschwindigkeitsprofils durch eine Polynomfunktion — 569
- 39.8 Das Pohlhausen-Profil für Keilströmungen — 571

**40 Die Energieerhaltung reibungsbehafteter Strömungen — 577**

- 40.1 Die Herleitung der Temperaturgrenzschichtgleichungen bei erzwungener Konvektion — 579
- 40.2 Die Dicke der Temperaturgrenzschicht bei erzwungener Konvektion — 583
- 40.3 Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für  $Pr = 1$ ,  $T_w = \text{konst}$  — 585
- 40.4 Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für  $Pr > 1$ ,  $T_w = \text{konst}$  — 592
- 40.5 Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für  $Pr < 1$ ,  $T_w = \text{konst}$  — 597
- 40.6 Die analytische Lösung der Temperaturgrenzschichtgleichung für  $0,1 \leq Pr < 1$ ,  $T_w = \text{konst}$  — 598

40.7	Die numerische Lösung Temperaturgrenzschichtgleichung —	<b>602</b>
40.8	Die Nusselt-Zahl als Funktion der Reynolds- und Prandtl-Zahl für die Platte —	<b>610</b>
<b>41</b>	<b>Freie Konvektion —</b>	<b>614</b>
41.1	Die Grenzschichtgleichungen bei freier Konvektion —	<b>614</b>
41.2	Die Lösung der Grenzschichtgleichungen für die Platte —	<b>616</b>
41.3	Näherung des Geschwindigkeits- und Temperaturprofils durch eine Polynomfunktion —	<b>621</b>
<b>42</b>	<b>Turbulente Strömungen —</b>	<b>631</b>
42.1	Die Stabilität einer laminaren Strömung —	<b>632</b>
42.2	Die Beschreibung der Turbulenz —	<b>634</b>
42.3	Die Reynolds-Gleichungen —	<b>636</b>
42.4	Der Mischungsweg von Prandtl —	<b>638</b>
42.5	Geschwindigkeitsprofile einer Plattenströmung —	<b>640</b>
42.6	Geschwindigkeitsprofile einer Rohrströmung —	<b>650</b>
42.7	Reibungswiderstand und Grenzschichtdicke der Rohrströmung —	<b>652</b>
42.8	Reibungswiderstand und Grenzschichtdicke der Plattenströmung —	<b>658</b>
42.9	Die Nusselt-Zahl bei laminarer und turbulenter Strömung —	<b>670</b>
42.10	Die Aufteilung der Energieerhaltung —	<b>676</b>
42.11	Gasströmungen in Rohren —	<b>689</b>
<b>43</b>	<b>Gerinneströmungen 2. Teil —</b>	<b>693</b>
43.1	Die Wirbelviskosität und Sohlschubspannung einer Gerinneströmung —	<b>695</b>
43.2	Die universelle Fließformel einer Gerinneströmung —	<b>701</b>
43.3	Die Windschubspannung —	<b>706</b>
43.4	Die Wassertiefe einer Gerinneströmung unter Windeinfluss —	<b>709</b>
43.5	Das Geschwindigkeitsprofil einer Gerinneströmung unter Windeinfluss —	<b>713</b>
43.6	Der Windstau an Ufern und Küsten —	<b>718</b>
43.7	Das Querprofil der Geschwindigkeit —	<b>723</b>

<b>Literaturverzeichnis —</b>	<b>731</b>
-------------------------------	------------

<b>Stichwortverzeichnis —</b>	<b>735</b>
-------------------------------	------------