Inhaltsverzeichnis

Teil B

Aerodynamik des Tragflügels (Teil II)

VII. Tragflügel endlicher Spannweite bei inkompressibler Strömung

7.1 Grundzüge der Prandtlschen Tragflügeltheorie .......................... 1
   7.11 Wirbelsystem des Tragflügels endlicher Spannweite ................. 1
   7.12 Auftrieb und induzierter Widerstand .................................. 2
   7.13 Prandtlsche Integralgleichung für die Zirkulationsverteilung ....... 7
   7.14 Elliptische Zirkulationsverteilung ..................................... 9
   7.15 Prandtlsche Umrechnungsformeln für den Tragflügel endlicher Spannweite ................................................................. 13

7.2 Tragflügeltheorie nach der Methode der Wirbelbelegung ................. 16
   7.21 Wirbelsystem der tragenden Fläche ..................................... 16
   7.22 Integralgleichung für die Zirkulationsverteilung nach der Tragflächentheorie .............................................................. 19
   7.23 Integralgleichung für die Zirkulationsverteilung nach der erweiterten Traglinientheorie ......................................................... 23
   7.24 Potential der tragenden Fläche ............................................. 25
      7.241 Geschwindigkeitspotential .............................................. 25
      7.242 Beschleunigungspotential .............................................. 27

7.3 Berechnung des Auftriebes von Tragflügeln ................................ 28
   7.31 Überblick ............................................................................. 28
   7.32 Berechnung des Gesamtauftriebes ........................................ 29
   7.33 Einfache Traglinientheorie .................................................. 33
      7.331 Grundgleichung ................................................................ 33
      7.332 Lösung durch Fourier-Polynome ...................................... 35
      7.333 Tragflügel mit elliptischem Grundriß ................................ 37
      7.334 Quadraturverfahren von MULTHOPP .................................. 39
      7.335 Ringflügel ...................................................................... 48
   7.34 Erweiterte Traglinientheorie ................................................ 49
      7.341 Verfahren von WEISSINGER ............................................ 49
      7.342 Flügel mit elliptischem Grundriß ...................................... 55
      7.343 Übergang von der erweiterten zur einfachen Traglinientheorie ..................................................................................... 57

7.35 Tragflächentheorie ................................................................. 58
   7.351 Allgemeiner Lösungsansatz ............................................... 58
   7.352 Verfahren von MULTHOPP und TRUCKENBRODT ...................... 61
   7.353 Beispiele und Vergleich mit Messungen ................................ 64

7.36 Nichtlineare Tragflügeltheorie ................................................ 72
<table>
<thead>
<tr>
<th>7.4 Berechnung des induzierten Widerstandes von Tragflügeln</th>
<th>75</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>7.41 Allgemeines</td>
<td>75</td>
</tr>
<tr>
<td>7.42 Berechnung des induzierten Widerstandes</td>
<td>76</td>
</tr>
<tr>
<td>7.421 Anwendung des Kutta-Joukowskyschen Satzes</td>
<td>76</td>
</tr>
<tr>
<td>7.422 Anwendung des Energiesatzes</td>
<td>78</td>
</tr>
<tr>
<td>7.423 Vereinfachte Betrachtung</td>
<td>80</td>
</tr>
<tr>
<td>7.43 Beispiele zum induzierten Widerstand</td>
<td>82</td>
</tr>
<tr>
<td>7.44 Tangentialkraft und Saugkraft</td>
<td>84</td>
</tr>
<tr>
<td>7.441 Tangentialkraft</td>
<td>84</td>
</tr>
<tr>
<td>7.442 Saugkraft</td>
<td>85</td>
</tr>
<tr>
<td>7.5 Flugmechanische Beiwerte des Tragflügels</td>
<td>88</td>
</tr>
<tr>
<td>7.51 Überblick</td>
<td>88</td>
</tr>
<tr>
<td>7.52 Stabilitätsbeiwerte der Längsbewegung</td>
<td>89</td>
</tr>
<tr>
<td>7.521 Geradeausflug</td>
<td>89</td>
</tr>
<tr>
<td>7.522 Nickbewegung</td>
<td>90</td>
</tr>
<tr>
<td>7.53 Stabilitätsbeiwerte der Seitenbewegung</td>
<td>94</td>
</tr>
<tr>
<td>7.531 Schiebeflug</td>
<td>94</td>
</tr>
<tr>
<td>7.532 Rollbewegung</td>
<td>105</td>
</tr>
<tr>
<td>7.533 Gierbewegung</td>
<td>108</td>
</tr>
<tr>
<td>7.6 Flügel endlicher Dicke bei Nullauftrieb</td>
<td>111</td>
</tr>
<tr>
<td>7.61 Überblick</td>
<td>111</td>
</tr>
<tr>
<td>7.62 Methode der Quell-Senkenbelegung</td>
<td>112</td>
</tr>
<tr>
<td>7.63 Beispiele</td>
<td>115</td>
</tr>
<tr>
<td>7.631 Rechteckflügel endlicher Spannweite</td>
<td>115</td>
</tr>
<tr>
<td>7.632 Ellipsenflügel</td>
<td>117</td>
</tr>
<tr>
<td>7.633 Gepfeilter Flügel</td>
<td>119</td>
</tr>
<tr>
<td>7.7 Maximalauftrieb von Tragflügeln</td>
<td>122</td>
</tr>
<tr>
<td>Literatur</td>
<td>128</td>
</tr>
</tbody>
</table>

VIII. Tragflügel bei kompressibler Strömung

| 8.1 Tragflügel unendlicher Spannweite bei kompressibler Strömung (Profiltheorie) | 133 |
| 8.11 Allgemeines                                                            | 133 |
| 8.12 Profiltheorie bei Unterschallgeschwindigkeit                           | 133 |
| 8.121 Lineare Theorie bei Unterschallgeschwindigkeit (Prandtl-Glauertische Regel) | 133 |
| 8.122 Höhere Näherungen bei Unterschallgeschwindigkeit (v. KÁRMÁN-TSIE N, KRAHN) | 140 |
| 8.123 Reibungseinfluß                                                       | 144 |
| 8.13 Profiltheorie bei Überschallgeschwindigkeit                            | 145 |
| 8.131 Lineare Theorie bei Überschallgeschwindigkeit (ACKERET)                | 145 |
| 8.132 Höhere Näherungen bei Überschallgeschwindigkeit (BUSEMANN)             | 153 |

8.2 Räumliche Tragflügeltheorie bei kompressibler Strömung                  | 155 |
| 8.21 Geschwindigkeitspotential                                               | 155 |
| 8.211 Allgemeine Potentialgleichung                                         | 155 |
| 8.212 Linearisierung der Potentialgleichung                                 | 156 |
8.22 Ähnlichkeitsregeln für Unterschall- und Überschallanströmung (Prandtl, Glauber, Ackerman) .................. 159
8.23 Ähnlichkeitsregel für Schallanströmung (v. Kármán) ................. 166

8.3 Tragflügel endlicher Spannweite bei Unterschallgeschwindigkeit ........ 169
8.31 Rechenverfahren ........................................... 169
8.32 Angestellter Tragflügel endlicher Spannweite (Auftriebsproblem) .... 171
  8.321 Allgemeine Formeln ................................... 171
  8.322 Beispiele .................................................. 173
8.33 Tragflügel endlicher Spannweite bei Nullauftrieb ...................... 178
  8.331 Allgemeine Formeln ................................... 178
  8.332 Pfeilflügel ................................................. 180

8.4 Tragflügel endlicher Spannweite bei Überschallgeschwindigkeit ....... 186
8.41 Grundlagen .................................................. 186
  8.411 Grundbegriffe .......................................... 186
  8.412 Kegelsymmetrische Überschallanströmung ...................... 191
  8.413 Grundlösungen der kegelsymmetrischen Überschallströmung .......... 193
  8.414 Uberlagerungsprinzip .................................... 201
  8.415 Singularitätenmethode für Überschallströmung ................. 203
8.42 Angestellter Tragflügel endlicher Spannweite ......................... 208
  8.421 Allgemeines .............................................. 208
  8.422 Rechteckflügel ......................................... 208
  8.423 Dreieckflügel ........................................... 211
  8.424 Beliebiger Flügel ........................................ 221
8.43 Tragflügel endlicher Spannweite bei Nullauftrieb ................. 229
  8.431 Allgemeines .............................................. 229
  8.432 Rechteckflügel bei Nullauftrieb ................................ 230
  8.433 Dreieckflügel bei Nullauftrieb ................................ 231
  8.434 Weitere Beispiele ........................................ 232

8.5 Tragflügel endlicher Spannweite bei Schallgeschwindigkeit............. 235

Literatur ............................................................. 239

Teil C

Aerodynamik des Rumpfes und der Leitwerke

IX. Aerodynamik des Rumpfes

9.1 Einführung in die Aerodynamik des Rumpfes ......................... 244
  9.11 Geometrie des Rumpfes .................................... 244
  9.12 Kräfte und Momente am Rumpf ................................ 248
9.2 Rumpf bei inkompressibler Strömung ................................ 249
  9.21 Allgemeines .................................................. 249
  9.22 Rumpf bei axialem Anströmung .................. 250
  9.221 Druckverteilung nach der Methode der Quell-Senkenbelegung .... 250
9.222 Exakte Lösungen .......................... 257  
9.223 Einfluß der Reibung .................. 258  
9.23 Rumpf bei unsymmetrischer Anströmung  259  
9.231 Allgemeines .......................... 259  
9.232 Rumpfmoment nach der Impulsmethode von MUNK  260  
9.233 Druckverteilung nach der Methode der Dipolbelegung  262  
9.234 Exakte Lösungen ...................... 268  
9.235 Einfluß der Reibung .................. 269  

9.3 Grundlagen der Rumpftheorie bei kompressibler Strömung  271  
9.31 Geschwindigkeitspotential ............. 271  
9.32 Ähnlichkeitsregeln für Unterschall- und Überschallanströmung  273  
9.33 Ähnlichkeitsregel für Schallanströmung .......... 275  

9.4 Rumpf bei Unterschallgeschwindigkeit ........ 277  
9.41 Rechenverfahren ....................... 277  
9.42 Rumpf bei axialer Anströmung ........ 278  
9.43 Rumpf bei unsymmetrischer Anströmung .... 280  

9.5 Rumpf bei Überschallgeschwindigkeit .... 281  
9.51 Grundlagen ............................ 281  
9.52 Rumpf bei axialer Anströmung ........ 282  
9.521 Druckverteilung ...................... 282  
9.522 Wellenwiderstand ..................... 288  
9.53 Rumpf bei unsymmetrischer Anströmung .... 294  

Literatur ..................................... 297

X. Aerodynamik der Flügel-Rumpf-Anordnung

10.1 Einführung in die Aerodynamik der Flügel-Rumpf-Anordnung ............ 300  
10.11 Allgemeines über die gegenseitige Beeinflussung der Flugzeugteile 300  
10.12 Geometrie der Flügel-Rumpf-Anordnung und aerodynamische Beiwerte .... 303  
10.13 Strömungsmechanische Grundlagen zur Flügel-Rumpf-Interferenz 305

10.2 Flügel-Rumpf-Anordnung bei inkompressibler Strömung .......... 309  
10.21 Flügel-Rumpf-Anordnung bei symmetrischer Anströmung .......... 309  
10.211 Gesamtauftrieb einer Flügel-Rumpf-Anordnung ........ 309  
10.212 Auftriebsverteilung des Rumpfes .... 312  
10.213 Auftriebsverteilung des Flügels .... 322  
10.214 Neutralpunktlage von Flügel-Rumpf-Anordnungen .... 325  
10.215 Widerstand und Maximalauftrieb von Flügel-Rumpf-Anordnungen .... 329  
10.22 Flügel-Rumpf-Anordnung bei unsymmetrischer Anströmung .... 332  
10.221 Schieberollmoment von Flügel-Rumpf-Anordnungen .... 332  
10.222 Schiebergiermoment und Schiebeseitenkraft von Flügel-Rumpf-Anordnungen .... 338  

10.3 Flügel-Rumpf-Anordnung bei Unterschallgeschwindigkeit .... 340  
10.4 Flügel-Rumpf-Anordnung bei Überschallgeschwindigkeit ..... 342  
10.41 Allgemeines ............................ 342
10.42 Auftriebsverteilung des Rumpfes ........................................... 344
10.43 Auftriebsverteilung des Flügels ............................................. 350
10.5 Flügel-Rumpf-Anordnung bei transsonischer Strömung ................. 354
10.6 Schlanke Flugkörper ............................................................. 357
Literatur ......................................................................................... 368

XI. Aerodynamik der Leitwerke

11.1 Einführung in die Aerodynamik der Leitwerke ............................... 372
11.11 Aufgabe der Leitwerke ............................................................ 372
11.12 Geometrie der Leitwerke ......................................................... 374

11.2 Aerodynamik des Höhenleitwerkes .............................................. 377
11.21 Beitrag des Höhenleitwerkes zur Luftkraft des ganzen Flugzeuges 377
11.211 Flugzeug im Geradeausflug .................................................... 377
11.212 Flugzeug bei Nickbewegung ................................................... 383
11.22 Höhenleitwerk bei incompressibler Strömung ............................... 384
11.221 Unbeeinflußtes Höhenleitwerk ............................................... 384
11.222 Einfluß des Rumpfes auf das Höhenleitwerk ............................. 386
11.223 Einfluß des Flügels auf das Höhenleitwerk ............................... 388
11.224 Stabilisierung durch das Höhenleitwerk (Neutralpunkt-
verschiebung) .............................................................................. 402
11.23 Höhenleitwerk bei Unterschallgeschwindigkeit ............................ 404
11.24 Höhenleitwerk bei Überschallgeschwindigkeit ............................ 408
11.241 Grundsätzliches ..................................................................... 408
11.242 Unbeeinflußtes Höhenleitwerk bei Überschallgeschwindigkeit ...... 411
11.243 Einfluß des Flügels auf das Höhenleitwerk bei Überschall-
geschwindigkeit ............................................................................ 411

11.3 Aerodynamik des Seitenleitwerkes ............................................. 418
11.31 Beitrag des Seitenleitwerkes zur Luftkraft des ganzen Flugzeuges 418
11.32 Unbeeinflußtes Seitenleitwerk .................................................. 421
11.33 Einfluß der Flügel-Rumpf-Anordnung auf das Seitenleitwerk ....... 423

Literatur ......................................................................................... 431

XII. Aerodynamik der Ruder und Klappen

12.1 Einführung in die Aerodynamik der Ruder und Klappen ............... 434
12.11 Aufgabe der Ruder und Klappen ................................................. 434
12.12 Geometrische Daten und aerodynamische Beiwerte der Ruder ....... 437

12.2 Klappenflügel unendlicher Spannweite ....................................... 440
12.21 Klappenflügel bei incompressibler Strömung ............................. 440
12.22 Klappenflügel bei kompressibler Strömung ............................... 446

12.3 Ruder am Flügel endlicher Spannweite ....................................... 448
12.31 Ruder am Flügel bei incompressibler Strömung ......................... 448
12.311 Berechnungsverfahren .......................................................... 448
12.312 Ergebnisse ............................................................................ 450
12.32 Ruder am Flügel bei kompressibler Strömung ............................ 455
Inhaltsverzeichnis

12.4 Ruder am Leitwerk ........................................ 462
12.5 Start- und Landehilfen .................................... 463
Literatur .................................................................. 476

Bibliographie .......................................................... 480

Anhang: Ausgeführte Flugzeuge, Entwurfsaerodynamik .... 486
Literatur (Anhang) .................................................. 504

Namensverzeichnis .................................................. 505
Sachverzeichnis ....................................................... 510
Aerodynamik des Flugzeuges
Zweiter Band: Aerodynamik des Tragflügels (Teil II), des Rumpfes, der Flügel-Rumpf-Anordnung und der Leitwerke
Schlichting, H.; Truckenbrodt, E.A.
2001, XVI, 514 S., Hardcover
ISBN: 978-3-540-67375-0