

# 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 MÜLTHOPF . . . . .	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 MÜLTHOPF und TRUCKENBRODT . . . . .	61
7.353 Beispiele und Vergleich mit Messungen . . . . .	64
7.36 Nichtlineare Tragflügeltheorie . . . . .	72

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

### 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-Glauertsche Regel)	133
8.122	Höhere Näherungen bei Unterschallgeschwindigkeit (v. KÁRMÁN-TSIEN, 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, GLAUERT, ACKERET) . . . . .	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 Überschallströmung . . . . .	191
8.413 Grundlösungen der kegelsymmetrischen Überschallströmung . . . . .	193
8.414 Überlagerungsprinzip . . . . .	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 axialer 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	Schiebegiermoment 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 inkompressibler 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 Überschallgeschwindig- keit . . . . .	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 inkompressibler Strömung . . . . .	440
12.22 Klappenflügel bei kompressibler Strömung . . . . .	446
12.3 Ruder am Flügel endlicher Spannweite . . . . .	448
12.31 Ruder am Flügel bei inkompressibler Strömung . . . . .	448
12.311 Berechnungsverfahren . . . . .	448
12.312 Ergebnisse . . . . .	450
12.32 Ruder am Flügel bei kompressibler Strömung . . . . .	455

12.4 Ruder am Leitwerk . . . . .	462
12.5 Start- und Landehilfen . . . . .	463
Literatur . . . . .	476
<b>Bibliographie</b> . . . . .	480
<b>Anhang: Ausgeführte Flugzeuge, Entwurfsaerodynamik</b> . . . . .	486
Literatur (Anhang) . . . . .	504
<b>Namenverzeichnis</b> . . . . .	505
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	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