

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	21
1 Einleitung	25
1.1 Die Anfänge des Motorflugs	26
1.2 Der Erste Weltkrieg	27
1.3 Entstehung der Passagierluftfahrt	28
1.4 Der Zweite Weltkrieg	31
1.5 Das Strahltriebwerk erobert die Luftfahrt	33
1.6 Der Traum vom Überschallflug	35
1.7 Die Expansion des Luftverkehrs	36
1.8 Flugzeuge der allgemeinen Luftfahrt	39
1.9 Hubschrauber	40
1.10 Was bringt die Zukunft?	41
Kommentierte Literatur- und Quellenhinweise	43
Bildquellen	43
2 Aerodynamik	45
2.1 Strömungsmechanische Grundgleichungen	47
2.1.1 Allgemeines	47
2.1.2 Bilanzgleichungen für Masse, Impuls und Energie	47
2.1.2.1 Prinzip der Bilanzbildung	47
2.1.2.2 Massenbilanz	48
2.1.2.3 Impulsbilanz	48
2.1.2.4 Energiebilanz	49
2.1.2.5 Generalisierte Schreibweise	50
2.1.3 Differenzielle Form	50
2.1.3.1 Streng konservative Differenzialform	51
2.1.3.2 Schwach konservative Differenzialform	51
2.1.3.3 Nicht-konservative Differenzialformen	51
2.1.4 Konstitutive Beziehungen	52
2.1.4.1 Thermodynamische Zustandsgleichungen	52
2.1.4.2 Molekulare Reibungsspannung	52
2.1.4.3 Molekulare Wärmeleitung	53
2.1.4.4 Transportkoeffizienten	53
2.1.4.5 Turbulente Strömungen	53
2.1.5 Kennzahlen	54
2.1.5.1 Machzahl	54
2.1.5.2 Reynoldszahl	54
2.1.5.3 Prandtlzahl	54
2.1.5.4 Strouhalzahl	55
2.1.6 Vereinfachungen	55
2.1.6.1 Potenzialgleichung	55
2.1.6.2 Inkompressible Strömungen	55
2.1.6.3 Grenzschichtgleichungen	56
Literatur	57
Bildquelle	57

2.2	Grundlagen der Aerodynamik	57
2.2.1	Grundbegriffe	57
2.2.1.1	Luftkräfte und -momente	58
2.2.1.2	Beiwerte und Kennzahlen	59
2.2.1.3	Nachrechnungs- und Entwurfsaufgaben	59
2.2.1.4	Beschränkung der Grundlagen	59
2.2.2	Grundlagen der Grenzschichten umströmter Körper	60
2.2.2.1	Lösung der Grenzschichtgleichungen	61
2.2.2.2	Verhalten turbulenter Grenzschichten	63
2.2.2.3	Transition von laminaren zu turbulenten Grenzschichten	64
2.2.3	Potenzialtheorie der nichtviskosen Umströmung eines Tragflügels	64
2.2.3.1	Potenzialgleichung und Affinitätsgesetz	64
2.2.3.2	Allgemeine Lösung der Potenzialgleichung	65
2.2.3.3	Berechnungsmethoden	66
2.2.3.4	Überschallströmungen	68
2.2.4	Ergebnisse der Profiltheorie	69
2.2.4.1	Skeletttheorie	69
2.2.4.2	Einflüsse der Dickenverteilung und der Grenzschichten	71
2.2.4.3	Einfluss der Machzahl und transsonische Strömungsphänomene	72
2.2.4.4	Schlanke Profile im Überschall	74
2.2.5	Ergebnisse der Tragflügeltheorie	75
2.2.5.1	Ungepfeilte Tragflügel mit großer Streckung bei inkompressibler Strömung	75
2.2.5.2	Tragflügel mit beliebigem Grundriss bei Unterschallgeschwindigkeit	77
2.2.5.3	Tragflügel bei Überschallgeschwindigkeit	81
	Literatur	83
2.3	Konfigurationsaerodynamik	83
2.3.1	Transportflugzeuge	83
2.3.1.1	Aerodynamische Anforderungen an Verkehrs- und Transportflugzeuge	85
2.3.1.2	Flügel-Rumpf-Anordnungen	88
2.3.1.3	Triebwerksintegration	95
	Literatur	113
	Bildquellen	113
2.3.2	Kampfflugzeuge	113
2.3.2.1	Anforderungen an moderne Kampfflugzeuge	114
2.3.2.2	Tragflügel	115
2.3.2.3	Flügel-Rumpf-Integration	130
2.3.2.4	Integration der Leitwerke	133
2.3.2.5	Einlaufintegration	138
2.3.2.6	Außenlastenintegration	147
	Literatur	150
	Bildquellen	150
2.3.3	Hubschrauber	151
2.3.3.1	Grundbegriffe	151
2.3.3.2	Rotoraerodynamik	155
2.3.3.3	Rumpfaerodynamik	166
2.3.3.4	Auslegung des Heckauslegers	168
	Literatur	171
	Bildquellen	172
2.4	Flügelentwurf	173
2.4.1	Allgemeine Entwurfsziele	173
2.4.2	Flügelpfeilung	174
2.4.3	Transsonische Profile	175

2.4.4	Transsonischer Pfeilflügel	177
2.4.4.1	Aerodynamischer Entwurf	177
2.4.4.2	Elastischer Flügel	178
2.4.5	Laminarflügel	179
2.4.6	Vorgepfeilter Flügel	181
2.4.7	Ausblick	183
	Literatur	183
	Bildquellen	184
2.5	Hochauftrieb	184
2.5.1	Grundlagen	184
2.5.2	Passive Hochauftriebssysteme	186
2.5.2.1	Passive Hochauftriebshilfen an der Vorderkante	187
2.5.2.2	Passive Hochauftriebshilfen an der Hinterkante	188
2.5.3	Aktive Auftriebssteigerung	189
2.5.3.1	Grenzschichtbeeinflussung durch Ausblasen und Absaugen	190
2.5.3.2	Zirkulationskontrolle und Superzirkulation	190
2.5.3.3	Ausnutzung des Triebwerksstrahls	191
	Literatur	192
	Bildquellen	192
2.6	Heck- und Leitwerksaerodynamik	192
2.6.1	Anforderungen, Grundformen und Positionierung	192
2.6.1.1	Einführung und Begriffsdefinitionen	192
2.6.1.2	Stabilität, Steuerung, Kraft- und Momentengleichgewicht	193
2.6.1.3	Grundgedanken zur Auslegung	193
2.6.1.4	Grundformen	193
2.6.2	Aerodynamik des Rumpfhecks	196
2.6.3	Höhenleitwerk	198
2.6.3.1	Grundlegende Anforderungen	198
2.6.3.2	Beitrag zur Luftkraft des Gesamtflugzeugs	198
2.6.3.3	Entwurfsaspekte	201
2.6.3.4	Profile für Höhenleitwerke	204
2.6.4	Seitenleitwerk	204
2.6.4.1	Grundlegende Anforderungen	204
2.6.4.2	Beitrag zur Luftkraft des Gesamtflugzeugs	205
2.6.4.3	Entwurfsaspekte	206
2.6.4.4	Profile für Seitenleitwerke	209
2.6.5	Ruder an Leitwerken	209
	Literatur	211
	Bildquellen	212
2.7	Aeroakustik	212
2.7.1	Grundlagen	212
2.7.1.1	Störungs- und Wellengleichungen	214
2.7.1.2	Lighthill-Gleichung – Aeroakustische Analogie	214
2.7.1.3	Ffowcs-Williams-&-Hawkins-Gleichung	215
2.7.2	Schallerzeugung an Flugzeugen	216
2.7.2.1	Propellergeräusch	217
2.7.2.2	Turbofangeräusch	217
2.7.2.3	Strahlgeräusch	219
2.7.2.4	Umströmungsgeräusch	220
2.7.3	Schallerzeugung an Hubschraubern	221
2.7.3.1	Hauprotorgeräusch	222

2.7.3.2 Heckrotorgeräusch	223
2.7.4 Installation	223
2.7.4.1 Installationsschallquellen	223
2.7.4.2 Schallabstrahlung unter Installationsbedingungen	223
2.7.5 Lärminderung	224
2.7.5.1 Entwurf lärmärmer aerodynamischer Komponenten	224
2.7.5.2 Lärminderungstechnologien	224
Literatur	225
Bildquellen	226
2.8 Numerische Methoden der Strömungsmechanik	226
2.8.1 Allgemeines	226
2.8.2 Grundprinzipien der numerischen Verfahren	227
2.8.2.1 Netzgenerierung	227
2.8.2.2 Diskretisierung	228
2.8.2.3 Lösung der diskreten Gleichungen	229
2.8.3 Finite-Volumen-Verfahren zur Lösung der Euler-/Navier-Stokes-Gleichungen	229
2.8.3.1 Räumliche Diskretisierung	229
2.8.3.2 Lösungsverfahren	230
2.8.3.3 Beschleunigungstechniken	231
2.8.3.4 Instationäre Verfahren	231
2.8.3.5 Turbulente Strömungen	231
2.8.3.6 Beispielanwendungen	232
2.8.4 Multidisziplinäre Simulation	234
2.8.5 Entwurf und Optimierung	235
2.8.6 Perspektive	235
Literatur	236
2.9 Versuchstechnik	237
2.9.1 Druckmessung	237
2.9.2 Geschwindigkeitsmessung	239
2.9.3 Temperaturmessung	244
2.9.4 Messung der Kräfte und Momente	245
2.9.5 Versuchsanlagen	247
Literatur	252
Bildquelle	253
3 Flugmechanik	255
3.1 Flugleistungen	255
3.1.1 Einleitung	255
3.1.2 Atmosphäre	256
3.1.2.1 Einleitung	256
3.1.2.2 Physikalische Zusammenhänge	256
3.1.2.3 Normatmosphäre	256
3.1.3 Aerodynamische Kräfte	257
3.1.3.1 Einleitung	257
3.1.3.2 Auftrieb	257
3.1.3.3 Widerstand	258
3.1.3.4 Flugzeugpolare	259
3.1.4 Antrieb	259
3.1.4.1 Definition von Schub und speifischem Brennstoffverbrauch	259
3.1.4.2 Propellerantrieb	259
3.1.4.3 Strahltriebwerke	260

3.1.4.4 Raketenantrieb	260
3.1.4.5 Verallgemeinerte Triebwerksleistungsgröße	260
3.1.5 Stationäre Flugzustände	261
3.1.5.1 Gleitflug und seine Bedeutung für die aerodynamische Konfiguration des Flugzeugs	261
3.1.5.2 Horizontalflug	262
3.1.5.3 Maximale Flughöhe	263
3.1.5.4 Steigflug	264
3.1.5.5 Horizontaler Kurvenflug	265
3.1.5.6 Flugbereichsgrenzen	268
3.1.6 Flugabschnitte	269
3.1.6.1 Strecken- und Dauerflug	269
3.1.6.2 Steigflugverfahren	271
3.1.6.3 Abflug und Landung	272
3.2 Stabilität, Steuerung, Flugdynamik	276
3.2.1 Einleitung	276
3.2.2 Statische Stabilität und Steuerung der Längsbewegung	277
3.2.2.1 Längsbewegung des stationären Geradeausflugs	277
3.2.2.2 Manöverstabilität (Abfangbewegung)	285
3.2.2.3 Steuersysteme und Steuerkräfte	287
3.2.3 Seitenbewegung	289
3.2.3.1 Freiheitsgrade	289
3.2.3.2 Gierbewegung	289
3.2.3.3 Rollbewegung	293
3.2.3.4 Kopplungsmomente	295
3.2.3.5 Spezielle unsymmetrische Flugzustände	298
3.2.4 Dynamik der Längsbewegung	301
3.2.4.1 Bewegungsgleichungen	301
3.2.4.2 Dynamische Stabilität	302
3.2.4.3 Eigenwerte und Eigenbewegungsformen	303
3.2.5 Dynamik der Seitenbewegung	305
3.2.5.1 Bewegungsgleichungen	305
3.2.5.2 Dynamische Seitenstabilität	307
3.2.5.3 Eigenwerte und Eigenbewegungsformen	307
Literatur	309
Bildquellen	309
4 Luftfahrzeugstrukturen	311
4.1 Luftfahrtwerkstoffe	312
4.1.1 Metalle	312
4.1.2 Faserverbundwerkstoffe	315
4.1.2.1 Historie und Charakterisierung	315
4.1.2.2 Fasern, Matrix-Kunststoffe und Halbzeuge	317
4.1.2.3 Spannungsanalyse	320
4.1.2.4 Laminattypen	321
4.1.2.5 Fügetechniken	323
Literatur	325
Bildquellen	325
4.2 Strukturtheorie	325
4.2.1 Lineare Elastizitätstheorie	325
4.2.1.1 Grundlagen	325
4.2.1.2 Scheiben	327

4.2.1.3	Biegebalken.....	329
4.2.1.4	Dünnwandige Profile	333
4.2.1.5	Torsionsstäbe	339
4.2.1.6	Schubfeldtheorie	343
4.2.1.7	Platten.....	348
4.2.2	Plastizität.....	351
4.2.2.1	Ramberg-Osgood-Beziehung.....	351
4.2.2.2	v. Mises-Spannung	352
4.2.2.3	Verfestigung	353
4.2.3	Stabilität.....	354
4.2.3.1	Stabknicken.....	355
4.2.3.2	Plattenbeulen	357
4.2.3.3	Schalenbeulen.....	360
4.2.4	Schädigungsverhalten	362
4.2.4.1	Metalle	362
4.2.4.2	Faser-Kunststoff-Verbunde	367
4.2.5	Numerische Berechnungsmethoden	373
4.2.5.1	Strukturmechanische Grundlagen	374
4.2.5.2	Grundzüge des numerischen Verfahrens.....	375
4.2.5.3	Nachlaufrechnung	375
Literatur	376	
Bildquellen.....	377	
4.3	Lasten	377
4.3.1	Arten von Lasten	377
4.3.2	Bemessungslasten.....	377
4.3.3	Belastungsgrenzen	378
4.3.3.1	Manöverlasten	379
4.3.3.2	Böenlasten	382
Literatur	385	
4.4	Strukturkonstruktion	385
4.4.1	Konstruktionsphilosophien	386
4.4.1.1	Einführung	386
4.4.1.2	Safe-Life	387
4.4.1.3	Fail Safe	387
4.4.1.4	Damage Tolerance.....	387
4.4.2	Anforderungen	391
4.4.3	Bauweisen	391
4.4.3.1	Strukturelemente.....	391
4.4.3.2	Fachwerkbauweise	394
4.4.3.3	Schalenbauweise	395
Literatur	399	
Bildquellen.....	399	
4.5	Grundlagen der Aeroelastik	399
4.5.1	Einführung	399
4.5.2	Klassifizierung der aeroelastischen Probleme	400
4.5.3	Grundlagen der Elastomechanik.....	401
4.5.3.1	Strukturidealisation.....	401
4.5.3.2	Statisches Deformationsverhalten des Tragflügels großer Streckung.....	403
4.5.3.3	Gepfeilte Auftriebsflächen kleiner Streckung.....	405
4.5.3.4	Schwingungen	405
4.5.4	Grundlagen der instationären Aerodynamik	406

4.5.4.1	Einleitende Bemerkungen	406
4.5.4.2	Tragflügel großer Streckung in inkompressibler Strömung	406
4.5.4.3	Tragflügel in kompressibler Unterschallströmung	409
4.5.4.4	Tragflügel in transsonischer Strömung	410
4.5.5	Statische aeroelastische Probleme	411
4.5.5.1	Stationäre Auftriebsverteilung am elastischen Pfeilflügel	412
4.5.5.2	Tragflügeltorsionsdivergenz	412
4.5.5.3	Ruderwirksamkeit	414
4.5.6	Dynamische aeroelastische Probleme	415
4.5.6.1	Klassisches Flattern mit einem Freiheitsgrad	415
4.5.6.2	Klassisches Flattern mit zwei und mehr Freiheitsgraden	416
4.5.6.3	Aeroservoelastische Stabilität	418
4.5.6.4	Transsonisches Flattern	419
4.5.6.5	Abreißflattern – Dynamic Stall	420
4.5.6.6	Kreiseleffekte – Whirlflattern	421
4.5.6.7	Flattern von Turbomaschinenbeschaufelungen	422
4.5.6.8	Buffeting	423
4.5.7	Experimentelle aeroelastische Methoden und Verfahren	425
4.5.7.1	Standschwingungsversuch	425
4.5.7.2	Windkanalversuchstechnik	426
4.5.7.3	Flugschwingungsversuch	428
Literatur	428	
Bildquellen	429	
4.6	Adaptive Strukturen	429
4.6.1	Einführung und Übersicht	429
4.6.2	Adaptive Elastodynamik	430
4.6.2.1	Aktive Schwingungsdämpfung und Lastabminderung in Flugzeugstrukturen	430
4.6.2.2	Aktive Helikopterrotoren	431
4.6.2.3	Aktive Lärmreduktion in Flugzeugkabinen	431
4.6.3	Formvariable Tragflächen	431
4.6.4	Aktorik und Sensorik	432
4.6.4.1	Aktorik	433
4.6.4.2	Aktorpositionierung	433
4.6.4.3	Integration und Interaktion von Aktoren mit Strukturen	433
4.6.4.4	Sensoren und Messtechnik	434
4.6.5	Zur Modellbildung und Simulation	434
4.6.6	Strukturüberwachung und -monitoring	435
Literatur	436	
Bildquellen	436	
4.7	Strukturversuche	437
4.7.1	Einleitung	437
4.7.2	Testpyramide	438
4.7.3	Lastannahmen	438
4.7.4	Bestimmung von Schnittkraftverläufen und deren Diskretisierung	439
4.7.5	Lasteinleitung	440
4.7.6	Statischer Festigkeitsnachweis	441
4.7.7	Betriebsfestigkeitsnachweis	441
Literatur	443	
Bildquellen	443	

5 Antriebe	445
5.1 Propeller- und Turbopropantriebe	446
5.1.1 Grundlagen	446
5.1.1.1 Einleitung	446
5.1.1.2 Winkel am Propellerblatt, Fortschrittsgrad und darauf aufbauende Größen.....	447
5.1.1.3 Aerodynamische Kräfte am Propellerblatt und Propellerwirkungsgrad.....	449
5.1.2 Grundlagen zur Propellergeometrie.....	450
5.1.3 Propellercharakteristika und Schlupf	452
5.1.3.1 Propellerwirkung auf das Flugzeug.....	456
5.1.3.2 Asymmetrische Propellerbelastung (P-Effekt oder P-Faktor)	458
5.1.4 Einfache quantitative Propelleranalyse.....	459
5.1.5 Propellertheorie	464
5.1.5.1 Blattelementtheorie.....	464
5.1.5.2 Impulstheorie	469
5.1.6 Propellerauswahl und zugehöriges Leistungsverhalten.....	471
5.1.6.1 Leistungsverhalten eines Verstellpropeller bei konstanter Drehzahl.....	472
5.1.6.2 Leistungsverhalten eines Propellers mit festem Blattwinkel	473
5.1.6.3 Windmilling und Umkehrschub	474
5.1.7 Arten von Propellern	475
5.1.7.1 Festpropeller (<i>Fixed-Pitch-Propeller</i>)	476
5.1.7.2 Einstellpropeller	476
5.1.7.3 Verstellpropeller (<i>Variable-Pitch-Propeller</i>)	477
5.1.7.4 <i>Constant-Speed</i> -Propeller für Kolbentriebwerke	480
5.1.8 Turboprop-Propeller	483
5.1.8.1 Arbeitsdrehzahlen.....	483
5.1.8.2 Alpha- und Beta-Mode	483
5.1.8.3 Negative Torque	484
5.1.9 Synchronisieranlagen.....	485
5.1.9.1 <i>Synchronizer</i>	485
5.1.9.2 <i>Synchrophaser</i>	486
5.1.10 Propellerwuchtung und Propellerspur	486
5.1.10.1 Statische Wuchtung	486
5.1.10.2 Dynamische Wuchtung	487
5.1.10.3 Aerodynamische Wuchtung	489
5.1.10.4 Überprüfung der Propellerspur.....	489
5.1.11 Turboprop-Triebwerk	489
5.1.11.1 Optimale Düsenaustrittsgeschwindigkeit	490
5.1.11.2 Betrachtungen zum Turboprop-Kreisprozess	492
Literatur	497
Bildquellen	497
5.2 Strahltriebwerke	497
5.2.1 Aufbau und Wirkungsweise von Turbofan-Triebwerken	499
5.2.1.1 Hauptbauteile und Grundbegriffe	499
5.2.1.2 Fan und Nebenstromverhältnis	501
5.2.1.3 Wellenanzahl und Drehrichtung	502
5.2.1.4 Einlauf und Schubdüsen	504
5.2.1.5 Stand der Leistungsfähigkeit	505
5.2.1.6 Positionierung am Flugzeug	506
5.2.1.7 Gondel und Reverser	508
5.2.1.8 Wie viel Schub braucht ein Triebwerk?	513
5.2.2 Triebwerksschub	514
5.2.2.1 Schubgleichung	514

5.2.2.2 Schub und Schubdüse	516
5.2.2.3 Spezifischer Schub	518
5.2.3 Spezifischer Brennstoffverbrauch	518
5.2.4 Wirkungsgrade	521
5.2.4.1 Thermischer Wirkungsgrad	521
5.2.4.2 Nutz-, Schub- und Verlustleistung und Vortriebs- und Gesamtwirkungsgrad	521
5.2.4.3 Zusammenhang zwischen spezifischem Schub, spezifischem Brennstoffverbrauch und thermischem Wirkungsgrad	523
5.2.5 Triebwerks-Kreisprozess	525
5.2.5.1 Synthesebasierte Kreisprozessberechnung	526
5.2.5.2 Parametrische Kreisprozessanalyse realer Turbofan-Triebwerke	545
5.2.5.3 Grenzen für das Nebenstrom- und das Fandruckverhältnis	549
5.2.6 Diffusoren und Düsen in Strahltriebwerken	550
5.2.6.1 Grundlegendes zu Diffusoren	551
5.2.6.2 Grundlegendes zu Düsen	552
5.2.6.3 Natürlicher und reduzierter Massenstrom	553
5.2.6.4 Subsonischer Triebwerkseinlauf	553
5.2.6.5 Rein konvergente Schubdüsen	560
Literatur	563
Bildquellen	563
 5.3 Triebwerkssysteme	564
5.3.1 Hilfseinrichtungen und Hilfsgeräte	564
5.3.1.1 Zapfluft	564
5.3.1.2 Hilfsgeräteträger	566
5.3.1.3 Startermotor und Triebwerksstart	568
5.3.2 Elektronische Triebwerksregelung	572
5.3.2.1 Generelle Aufgaben und Eigenschaften von Triebwerksregelungen	572
5.3.2.2 Generelle Grundsätze für eine Triebwerksregelung	573
5.3.2.3 Komponenten eines Triebwerks-Regelungssystems	573
5.3.3 Triebwerk-Leistungssteuerung	584
5.3.3.1 Messung und Beurteilung der Triebwerksleistung im Flug	588
5.3.3.2 Maximal zulässige Abgastemperatur EGT	590
5.3.3.3 Triebwerksschonung im Alltagsbetrieb durch Flat-rated- und De-rated-Schub	590
5.3.3.4 FLX-Thrust und FLX-Temperatur	591
5.3.4 Brennstoffsystem	592
5.3.4.1 Flugzeug-Brennstoffsystem	592
5.3.4.2 Triebwerks-Brennstoffsystem	596
5.3.5 Ölsystem	605
5.3.6 Wärmemanagementsystem	615
5.3.7 Internes Triebwerks-Luftsystem	617
5.3.7.1 Kühlung	618
5.3.7.2 Axialkraftausgleich	620
5.3.7.3 Aktive Spaltkontrolle	621
5.3.8 Verdichterluft-Regelsystem	624
5.3.8.1 Transiente Vorgänge	624
5.3.8.2 Verstellbare Verdichterleitschaufeln	627
5.3.8.3 Variable Abblaseventile am Niederdruckverdichter	628
5.3.8.4 Abblaseventile am Hochdruckverdichter	630
5.3.9 Triebwerksvereisungsschutz	632
5.3.9.1 Allgemeines zur Eisbildung und zur Enteisung	632
5.3.9.2 Vereisungsschutz für den Nasenkonus (Spinner)	633
5.3.9.3 Vereisungsschutz für die Gondeleinlauflippen	634
5.3.10 Gondelbelüftung und Schutz vor Überhitzung und Feuer	635

5.3.10.1 Kühlung und Belüftung	635
5.3.10.2 Prävention, Detektion und Löschung von Triebwerksfeuern	636
Literatur	640
Bildquellen	641
6 Flugführung	643
6.1 Koordinatensysteme	643
6.1.1 Flugmechanische Koordinatensysteme nach LN 9300	644
6.1.1.1 Geodätisches Koordinatensystem	644
6.1.1.2 Flugzeugfestes Koordinatensystem	644
6.1.1.3 Bahnachsensystem	644
6.1.1.4 Aerodynamisches Koordinatensystem	645
6.1.1.5 Transformation zwischen den Koordinatensystemen	646
6.1.2 Erdbezogene Koordinatensysteme	647
6.1.2.1 ECEF-Koordinatensystem	647
6.1.2.2 Transformation von Polar- in kartesische Koordinaten	647
6.1.3 Beschreibung des Flugzustands	647
6.2 Flugzustandserfassung	648
6.2.1 Sensoren	648
6.2.1.1 Druckmessung	648
6.2.1.2 Statische Druckmessung	649
6.2.1.3 Barometrischer Höhenmesser	650
6.2.1.4 Totaldruckmessung	650
6.2.1.5 Windfahne	651
6.2.1.6 Beschleunigungssensor	652
6.2.1.7 Kreisel	652
6.2.2 Normatmosphäre	654
6.2.3 Fahrtmessung	655
6.2.4 Höhenmessung	656
6.2.5 Höhenänderung	658
6.2.6 Lageinstrumente	658
6.2.7 Navigationssysteme	659
6.2.7.1 Inertial Navigation System (INS)	659
6.2.7.2 VHF Omnidirectional Range (VOR)	662
6.2.7.3 Distance Measuring Equipment (DME)	664
6.2.7.4 Global Navigation Satellite System (GNSS)	665
6.2.7.5 Ephemeriden	665
6.2.7.6 Positionsbestimmung	667
6.2.7.7 Kopplung INS/GNSS	669
6.3 Systemarchitekturen	671
6.3.1 Systeme für Flächennavigationsverfahren	672
6.3.2 Bussysteme	674
6.3.2.1 Military Standard MIL-STD-1553	674
6.3.2.2 Aeronautical Radio, Incorporated ARINC 429	674
6.3.2.3 Aeronautical Radio, Incorporated ARINC 629	675
6.3.2.4 Aeronautical Radio, Incorporated ARINC 664	675
6.3.3 Integrated Modular Avionics	675
6.3.4 Flugmanagementsysteme	676
6.3.4.1 Auto Flight System (AFS)	676
6.3.4.2 Flight Management (FM)	677
6.3.4.3 Flight Guidance (FG)	679

6.3.4.4 Flight Envelope (FE)	679
6.4 Navigationsverfahren	681
6.5 Landesysteme	685
6.5.1 Anflüge	687
6.5.2 ILS	688
6.5.2.1 Erzeugung fester Standlinien (Leitlinien)	690
6.5.2.2 Marker	693
6.5.2.3 Bordgeräte	693
6.5.3 Satellitengestützte Landesysteme	694
6.5.3.1 GLS/GBAS	694
6.5.3.2 Berechnung der Winkelablagen	696
6.5.3.3 Fehlerberechnung	697
6.5.4 Politische und wirtschaftliche Aspekte	698
Literatur	698
Bildquellen	699
7 Flugzeugsysteme	701
7.1 Einführung	701
7.1.1 Einordnung der Flugzeugsysteme	701
7.1.2 Definitionen	702
7.1.3 Breakdown	703
7.1.4 Zulassung	705
7.1.5 Sicherheit und Zuverlässigkeit	705
7.1.6 Masse	710
7.1.7 Leistung	711
7.1.8 Kosten und Vergleichsstudien	712
7.2 Klimaanlagen	713
7.2.1 Grundlagen	713
7.2.1.1 Auswirkung von atmosphärischen Parametern	713
7.2.1.2 Belüftung	714
7.2.1.3 Temperaturregelung	714
7.2.1.4 Druckregelung	714
7.2.2 Heizsysteme	715
7.2.3 Kühlsysteme	715
7.2.4 Druckregelungssysteme	717
7.2.5 Beispiel: Airbus A321	717
7.3 Bordstromversorgung	719
7.3.1 Gliederung	719
7.3.2 Leistungserzeugung	719
7.3.3 Leistungsverteilung	720
7.3.4 Beispiel: Airbus A321	722
7.4 Ausrüstung	724
7.4.1 Ausstattungselemente	724
7.4.2 Kabinenauslegung	724
7.4.3 Passagiersitze	725
7.4.4 Notevakuierung	726
7.4.5 Beispiel: Airbus A321	727

7.5	Feuerschutz.....	728
7.5.1	Detektionsgrundlagen	728
7.5.2	Überhitzungsdetektion	728
7.5.3	Rauchdetektion.....	730
7.5.4	Grundlagen der Feuerlöschung	731
7.5.5	Triebwerks- und APU-Feuerlöschanlage.....	731
7.5.6	Feuerlöschanlage im Frachtraum	732
7.5.7	Löschenmethoden in der Passagierkabine	732
7.5.8	Beispiel: Airbus A321.....	733
7.6	Flugsteuerung	733
7.6.1	Gliederung.....	733
7.6.1.1	Primäre und sekundäre Flugsteuerung	733
7.6.1.2	Reversible und irreversible Flugsteuerung	734
7.6.1.3	Funktionsprinzip und Energieversorgung.....	734
7.6.2	Steuern, Trimmen, Stabilität	735
7.6.3	Steuerflächen - primäre Flugsteuerung.....	736
7.6.3.1	Höhenruder.....	736
7.6.3.2	Querruder	737
7.6.3.3	Seitenruder	737
7.6.3.4	Trimmklappe, Hilfsklappe und Flettner-Klappe	738
7.6.4	Bedienorgane - primäre Flugsteuerung.....	739
7.6.5	Steuerflächen - sekundäre Flugsteuerung	740
7.6.5.1	Hochauftriebshilfen	740
7.6.5.2	Bremsklappen und Störklappen	744
7.6.6	Bedienorgane - sekundäre Flugsteuerung	745
7.6.7	Mechanische Signal- bzw. Kraftübertragungselemente.....	745
7.6.8	Elektrische Signalübertragung (Fly-by-Wire)	746
7.6.9	Aktuatoren.....	746
7.6.9.1	Hydraulische Aktuatoren mit mechanischer Ansteuerung.....	746
7.6.9.2	Integrated Actuator Package (IAP)	747
7.6.9.3	Fly-by-Wire Actuator.....	748
7.6.9.4	Electro-Hydrostatic Actuator (EHA)	748
7.6.9.5	Electro-Mechanical Actuator (EMA)	748
7.6.9.6	Redundanz der Ansteuerung	748
7.6.9.7	Ruderdrucksimulation	749
7.6.10	Beispiel: Airbus A321.....	749
7.7	Kraftstoffsystem	751
7.7.1	Allgemeines.....	751
7.7.2	Kraftstoffaufbewahrung.....	752
7.7.3	Kraftstoffförderanlage	753
7.7.4	Kraftstoff-Schnellablassanlage.....	755
7.7.5	Anzeigen von Kraftstoffparametern.....	756
7.7.6	Beispiel: Airbus A321.....	756
7.8	Hydraulikversorgung	758
7.8.1	Allgemeines.....	758
7.8.2	Wirkungsweise.....	758
7.8.3	Komponenten des Hydrauliksystems	759
7.8.4	Beispiel: Airbus A321.....	761
7.9	Eis- und Regenschutz	762
7.9.1	Gliederung.....	762

7.9.2	Grundlagen der Vereisung	763
7.9.3	Pneumatisch-mechanische Systeme	766
7.9.4	HeiBluftsysteme	767
7.9.5	Elektrische Widerstandssysteme	767
7.9.6	Flüssigkeitssysteme	768
7.9.7	Eis- und Beschlagschutz bei Cockpitscheiben	768
7.9.8	Cockpitscheiben-Regenschutzanlagen	769
7.9.9	Eiserkennung und Eiswarnung	769
7.9.10	Beispiel: Airbus A321	769
7.10	Fahrwerk	771
7.10.1	Allgemeines	771
7.10.2	Fahrwerkstypen	771
7.10.3	Anforderungen	773
7.10.4	Baugruppen und Komponenten	774
7.10.4.1	Bugfahrwerk	774
7.10.4.2	Hauptfahrwerk	774
7.10.4.3	Stoßdämpfer	776
7.10.4.4	Reifen, Räder und Bremsen	776
7.10.5	Fahrwerkssysteme	780
7.10.5.1	Betätigungsysteem	780
7.10.5.2	Lenksystem	781
7.10.5.3	Bremssystem	782
7.10.5.4	Fahrwerksüberwachungs- und Warnanlage	784
7.10.6	Beispiel: Airbus A321	785
7.10.6.1	Allgemein	785
7.10.6.2	Hauptfahrwerk	786
7.10.6.3	Bugfahrwerk	786
7.10.6.4	Betätigungsysteem	786
7.10.6.5	Lenksystem	787
7.10.6.6	Bremssystem	787
7.11	Beleuchtung	788
7.11.1	Einleitung	788
7.11.2	Beispiel: Airbus A321	788
7.12	Sauerstoffanlage	790
7.12.1	Der menschliche Sauerstoffbedarf	790
7.12.2	Gliederung	790
7.12.3	Atemregler	791
7.12.4	Masken	792
7.12.5	Sauerstoffquellen	792
7.12.6	Beispiel: Airbus A321	794
7.13	Pneumatikversorgung	795
7.13.1	Pneumatische Hochdruckanlagen	795
7.13.2	Pneumatische Niederdruckanlagen	795
7.13.3	Beispiel: Airbus A321	797
7.14	Wasser/Abwasseranlage	798
7.14.1	Einteilung	798
7.14.2	Trinkwasseranlage	798
7.14.3	Abwasseranlage	799
7.14.4	Toilettenanlage	799

7.14.5 Beispiel: Airbus A321.....	799
7.15 Hilfstriebwerk	800
7.15.1 Grundlagen	800
7.15.2 Beispiel: Airbus A321.....	802
Literatur	802
Danksagung	805
Bildquellen	805
Sachwortverzeichnis	807