

Klaus Engmann (Hrsg.)

Technologie des Flugzeuges

5., neu bearbeitete Auflage

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Einführung in die Flugzeugtechnik	17
1.1 Zum Begriff Flugzeug (KLAUS ENGMANN)	17
1.2 Historische Flugzeuge (KLAUS ENGMANN)	19
1.3 Einfluss internationaler und nationaler Organisationen der Luftfahrt (WILLY FAHJE) .	22
1.3.1 International Air Transport Association (IATA)	23
1.3.2 International Civil Aviation Organization (ICAO)	24
1.3.3 European Civil Aviation Conference (ECAC)	25
1.3.4 Eurocontrol	26
1.3.5 Joint Aviation Authorities (JAA)	26
1.3.6 European Aviation Safety Agency (EASA)	28
1.3.7 Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)	31
1.3.8 Luftfahrt-Bundesamt (LBA)	32
1.3.9 Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU)	34
1.3.10 Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS)	35
1.3.11 Luftfahrtbehörden der Bundesländer	38
1.4 Entwicklungsphasen (RÜDIGER GRUBE)	39
1.5 Betriebskosten (RÜDIGER GRUBE)	41
1.6 Menschliche Faktoren – Human Factors (BERNHARD FLEISCHER)	45
1.6.1 Unsicherheitsfaktor Mensch	44
1.6.2 Fehlerquelle Wartung	46
1.6.3 Einordnung des Fachgebietes Human Factors	46
1.6.4 Informationsaufnahme des Menschen	49
1.6.5 Informationsverarbeitung	53
1.6.6 Informationsspeicherung	55
1.6.7 Wahrnehmungsverzerrungen	56
1.6.8 Leistungsbeeinflussende Faktoren	58
1.6.9 Erhalt der Leistungsfähigkeit/Stressabbau	70
2 Werkstoffe (KLAUS ENGMANN)	79
2.1 Aufbau der Werkstoffe	80
2.1.1 Metalle	80
2.1.2 Nichtmetalle	86
2.2 Werkstoffnormung	100
2.3 Werkstoffeigenschaften	106
2.3.1 Elastizität	107
2.3.2 Plastizität	108
2.3.3 Festigkeit	109
2.3.4 Härte	111

2.3.5	Zähigkeit	112
2.3.6	Spezifische Zugfestigkeit	114
2.3.7	Dehngrenzenverhältnis	114
2.3.8	Dauerfestigkeit	115
2.3.9	Warmfestigkeit	116
2.3.10	Tiefziehfähigkeit	118
2.4	Werkstoffprüfung	120
2.4.1	Werkstattproben	121
2.4.2	Mechanisch-technologische Prüfverfahren	121
2.4.3	Untersuchung des mikroskopischen Aufbaus	121
2.4.4	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	121
2.5	Ausgewählte Werkstoffe	124
2.5.1	Aluminiumlegierungen	124
2.5.2	Stahllegierungen	136
2.5.3	Titan und Titanlegierungen	143
2.5.4	Faserverbundwerkstoffe	146
2.5.5	GLARE®	151
3	Korrosion und Oberflächenschutz (PETER BRÜCHMANN)	155
3.1	Korrosion	155
3.1.1	Korrosionsarten	158
3.1.2	Korrosionsentfernung	166
3.2	Oberflächenschutz	167
4	Umformen (KLAUS ENGMANN)	175
4.1	Kantbiegen	176
4.1.1	Kantbiegemaschine	178
4.1.2	Kantpresse	181
4.2	Verdrängen	183
4.3	Gummipressen (Engmann)	184
4.4	Streckziehen	185
4.5	Tiefziehen	186
4.6	Superplastisches Formen	187
4.7	CIAM-Forming	188
4.8	Warmumformen durch Schmieden	189
5	Fügen	191
5.1	Nietverbindungen	192
5.1.1	Vollniete (HORST MENTZEL)	197
5.1.2	Hi-Lok-Passniete (HORST MENTZEL)	211
5.1.3	Hi-Lite-Passniete (KLAUS ENGMANN)	217
5.1.4	Lockbolt-Passniete (HORST MENTZEL)	218
5.1.5	Taper-Lok-Passniete (KLAUS ENGMANN)	220
5.1.6	Schraubniete (HORST MENTZEL)	223
5.1.7	Blindniete (HORST MENTZEL)	226
5.2	Schweißen (KLAUS ENGMANN)	232
5.2.1	Gasschmelzschweißen	232
5.2.2	Metall-Lichtbogen-Schweißen	236
5.2.3	Wolfram-Inert-Gas-Schweißen	237
5.2.4	Elektronenstrahlschweißen	242
5.2.5	Punktschweißen	243
5.2.6	Laserstrahlschweißen	243

5.3	Kleben (KLAUS ENGMANN)	245
5.3.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	245
5.3.2	Chemisch reagierende Klebstoffe	245
5.3.3	Gestaltung von Klebeverbindungen	247
5.3.4	Vorbereitung von Klebeflächen	249
5.4	Schrauben und Bolzen (PETER BRÜCHMANN)	250
5.4.1	Ausführungsarten	250
5.4.2	Schraubenwerkstoffe	251
5.4.3	Beanspruchungen und Festigkeiten	253
5.4.4	Gewindeausführungen	253
5.4.5	Schrauben und Bolzen im amerikanischen Flugzeugbau	257
6	Spanen mit Werkzeugmaschinen und Automation in der Fertigung (WILLY FAHJE)	261
6.1	Spanen mit Werkzeugmaschinen	261
6.1.1	Die Werkzeugmaschine	264
6.1.2	Antriebs- und Übertragungselemente	265
6.1.3	Arbeitsbewegungen an Werkzeugmaschinen	265
6.1.4	Trennen durch Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	267
6.1.5	Schneidengeometrie	269
6.1.6	Winkelbenennung	270
6.1.7	Spanbildung	270
6.1.8	Beitrag der Zerspanungstechnologie zur Bearbeitung moderner Werkstoffe im Flugzeugbau	272
6.2	Automation in der Fertigung	273
6.2.1	Das Koordinatensystem an Werkzeugmaschinen	273
6.2.2	Steuerungsarten	274
6.2.3	Bezugspunkte im Arbeitsraum der Werkzeugmaschine	275
6.2.4	Programmierung von NC-Werkzeugmaschinen	277
6.2.5	Steuern und Regeln	277
6.2.6	Bewegungseinrichtungen, Bewegungsautomaten, Industrieroboter	280
6.2.7	Computerintegrierte Fertigung (CIM)	283
6.2.8	Automatisierung im Flugzeugbau am Beispiel der Montage des Airbus-Seitenleitwerkmittelkastens	284
7	Konstruktiver Aufbau	289
7.1	Konstruktionsgruppen	289
7.1.1	Rumpfwerk (RÜDIGER GRUBE)	290
7.1.2	Tragwerk (RÜDIGER GRUBE)	294
7.1.3	Leitwerk (RÜDIGER GRUBE)	295
7.1.4	Steuerwerk (RÜDIGER GRUBE)	296
7.1.5	Fahrwerk (BERND ZESSIN)	298
7.1.6	Gliederung und Kennzeichnung der Baugruppen (RÜDIGER GRUBE)	340
7.1.7	Massehauptgruppen und Massebegriffe (RÜDIGER GRUBE)	341
7.2	Lokalisierungsverfahren (RÜDIGER GRUBE)	343
7.2.1	Koordinatensystem	343
7.2.2	Stationspläne	344
7.2.3	Zoning-System	345
7.3	Bauweisen (RÜDIGER GRUBE)	346
7.3.1	Fachwerkbauweise	346
7.3.2	Holm- bzw. Gurtbauweise	347
7.3.3	Schalenbauweise	348

	7.3.4	Differentialbauweise	353
	7.3.5	Integralbauweise	353
7.4		Bauarten (RÜDIGER GRUBE)	355
	7.4.1	Fail-Safe-Methode	355
	7.4.2	Safe-Life-Methode	356
7.5		Beanspruchungen von Bauteilen (RÜDIGER GRUBE)	356
	7.5.1	Sicherheitsfaktoren	358
	7.5.2	Statische und dynamische Ermüdungsversuche	358
	7.5.3	Drucksimulation an der Rumpfstruktur	360
7.6		Wartung der Struktur (KLAUS ENGMANN)	360
8		Aerodynamik und Flugmechanik (MANFRED PORATH)	367
8.1		Aerodynamische Gesetze und Vorgänge	368
	8.1.1	Kontinuitätsgesetz	368
	8.1.2	Bernoulligesetz	371
	8.1.3	Widerstandsgesetz	374
	8.1.4	Ähnlichkeitsgesetze	380
8.2		Strömungsvorgänge am Profil	384
	8.2.1	Grenzschicht und Reibungswiderstand	384
	8.2.2	Auftrieb	389
	8.2.3	Auftrieb und Widerstand	394
	8.2.4	Aerodynamische Forderungen an die Profilform	396
	8.2.5	Geometrische Bezeichnungen am Profil	397
	8.2.6	Leistungsparameter des Profils	398
	8.2.7	Profile für Unterschallgeschwindigkeiten	399
	8.2.8	Profile für Überschallgeschwindigkeiten	409
8.3		Strömungsvorgänge am Tragflügel	413
	8.3.1	Tragflügelgeometrie	414
	8.3.2	Tragflügelumströmung und Strömungsbeeinflussung	415
	8.3.3	Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung der Strömungsablösung	422
	8.3.4	Auftriebserhöhende Hilfen	426
8.4		Strömungsvorgänge am Flugzeug	432
	8.4.1	Schädlicher Widerstand	432
	8.4.2	Interferenzwiderstand	433
	8.4.3	Gesamtpolare und Gleitzahl	434
	8.4.4	Widerstandserhöhende Hilfen	436
	8.4.5	Der Propeller	438
8.5		Flugzustände und Flugleistungen	443
	8.5.1	Horizontalflug	443
	8.5.2	Gleitflug	446
	8.5.3	Steigflug	448
	8.5.4	Ungleichförmige Flugzeugbewegungen	450
8.6		Flugstabilität und Steuerung	454
	8.6.1	Stabilitätsgrade	454
	8.6.2	Stabilität in der Bewegungsrichtung	456
	8.6.3	Steuerwerk	459
	8.6.4	Steuerorgane (Steuerflächen)	461
	8.6.5	Die Fly-by-wire-Steuerung (DETLEF VON AHLEN)	467
9		Triebwerke	473
9.1		Prinzipien der Vortriebserzeugung (RAINER HINZ-RAULFS)	473
	9.1.1	Umwandlung der Motorkraft in Vortrieb	473

9.1.2	Die Schubgleichung	476
9.1.3	Der Vortriebswirkungsgrad η_V	478
9.1.4	Das Nebenstromverhältnis μ	481
9.1.5	Der Propfan	483
9.2	Vom Kolbenmotor zum Gasturbinentriebwerk (ARNE GÖPELT)	486
9.2.1	Entwicklung und Grenzen des Kolbenflugmotors	486
9.2.2	Aufbau und Wirkungsweise von Kolbenflugmotoren	488
9.3	Bauarten von Strahltriebwerken (RAINER HINZ-RAULFS)	527
9.4	Aufbau und Arbeitsweise der Triebwerkssektionen (DETLEF VON AHLJEN)	540
9.4.1	Stationen des Gasturbinentriebwerks	540
9.4.2	Der modulare Aufbau der Gasturbinentriebwerke	541
9.4.3	Triebwerkseinlauf	543
9.4.4	Arbeitsweisen von Verdichtern	549
9.4.5	Antriebsleistung des Verdichters	563
9.4.6	Wirkungsgradverbesserungen von Gasturbinen	565
9.4.7	Brennkammer	577
9.4.8	Turbine	590
9.4.9	Schubdüse	608
9.4.10	Der Betrieb eines Strahltriebwerks	616
9.5	Triebwerkssysteme (DIRK RITTER)	628
9.5.1	Schmierstoffsystem	628
9.5.2	Kraftstoffsystem	638
9.5.3	Regelung der Betriebszustände	644
9.5.4	Hydromechanische Regler	647
9.5.5	Volldigitales Regelungssystem	650
9.5.6	Flugkraftstoffe für Gasturbinentriebwerke	654
9.5.7	Zündsystem	656
9.6	Wartung von Triebwerken (PETER BRÜCHMANN)	658
9.6.1	Typische Wartungsvorgänge am Triebwerk	663
9.7	Emissionen (DIRK RITTER)	664
9.7.1	Lärmemission	664
9.7.2	Schadstoffemission	676
10	Hydraulikanlagen (HEINER KRÄMER)	683
10.1	Physikalische Grundbegriffe	683
10.1.1	Hydrodynamischer Druck	683
10.1.2	Hydrostatischer Druck	684
10.1.3	Hydraulische Kraftübertragung	686
10.1.4	Hydraulische Leistung	687
10.2	Energieträger im hydraulischen System	688
10.2.1	Hydraulikflüssigkeit	688
10.3	Bauelemente der Hydraulik	690
10.3.1	Tanks zur Flüssigkeitsbevorratung	690
10.3.2	Pumpen	692
10.3.3	Hydraulikmotoren	695
10.3.4	Selbsttätige Ventile	695
10.3.5	Schalt- und Regelventile	699
10.3.6	Leitungen und Verbindungen	701
10.3.7	Dichtungen	702
10.3.8	Filter	704
10.3.9	Arbeitszylinder	706
10.3.10	Akkumulatoren	707

10.4	Aufbau hydraulischer Systeme und Anlagen	708
10.4.1	Hydrauliksysteme des Flugzeuges	708
10.4.2	Spülen und Entlüften	711
10.4.3	Funktionsprüfung	712
11	Helikopter (BERND ZESSIN)	715
11.1	Zum Begriff Helikopter	715
11.1.1	Bauarten der Drehflügler	715
11.1.2	Antriebsarten des Helikopterrotors	717
11.1.3	Anordnung der Rotoren	719
11.2	Grundlagen der Helikoptersteuerung	720
11.3	Aerodynamik des Helikopters	722
11.3.1	Rotorströmung im Vertikalflug	722
11.3.2	Rotorströmung im Horizontalflug	727
11.3.3	Steuerung des Helikopters mit dem Rotor	733
11.3.4	Geschwindigkeitsbegrenzung des Helikopters	739
11.3.5	Unterschied zwischen Hubschrauber- und Tragschrauberzustand (Autorotation)	741
11.3.6	Roll- und Nickmoment zwischen Rotor und Rumpf	743
11.4	Mechanik des Helikopters	744
11.4.1	Mechanik des Rotorkopfes	744
11.4.2	Aufbau und Wirkungsweise der kardanisch gelagerten Taumelscheibe	748
11.4.3	Aufbau und Wirkungsweise des Mischhebelgetriebes	749
11.4.4	Drehmomentenausgleich und Richtungssteuerung	750
11.4.5	Aufbau des Heckrotors	751
11.4.6	Planetengetriebe	753
11.5	Bauweisen der Rotorblätter	755
12	Instrumente (BERND ZESSIN)	757
12.1	Einordnung der Instrumente	757
12.2	Herkommliche Instrumente	758
12.2.1	Barometrische Instrumente	758
12.2.2	Kreiselgeräte	772
12.2.3	Magnetkompass (Magnetic Compass)	783
12.2.4	Instrumenten-Landesystem	787
12.2.5	Anstellwinkelgeber	789
12.3	Instrumente neuerer Technologie	790
12.3.1	Elektronisches Instrumentensystem	790
12.3.2	Laserkreisel	796
12.4	Grundlagen der Navigation	799
13	Elektrische Energieversorgung	803
13.1	Spannungsversorgung in Bordnetzen (TORGE VOSS)	805
13.1.1	Spannungsversorgung in Bordnetzen mit primärer Gleichspannungsversorgung	805
13.1.2	Spannungsversorgung in Bordnetzen mit primärer Wechselspannungsversorgung	817
13.1.3	Notstromversorgung in DC- und AC-Bordnetzen	824
13.2	Elektrische Energieverteilung (CARSTEN-MICHAEL WASCHK)	826
13.2.1	Struktur des Netzes	827
13.2.2	Leitungen und Kabel	830
13.3	Elektrische Verbraucher (GERNOT FRIES)	840

13.3.1	Beleuchtung	841
13.3.2	Wärmeerzeuger	846
13.3.3	Elektrische Maschinen	849
13.3.4	Elektronische Systeme und weitere Verbraucher	853
13.4	Überwachung und Steuerung von Bordnetzen (MATTHIAS JURGENS)	855
13.4.1	Anzeige- und Bedienelemente im Cockpit A 320	858
13.4.2	Komponenten zur Steuerung des Bordnetzes	865
Quellenverzeichnis		873
Stichwortverzeichnis		875