

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung des Leichtbaus	1
2 Problemstruktur des Leichtbaus	3
2.1 Eigengewichtsaufgabe	3
2.2 Kostenmodell	5
2.3 Konstruktive Rahmen- und Einsatzbedingungen	7
2.4 Wertigkeit des Leichtbaus	9
3 Methoden und Hilfsmittel im Leichtbau	10
3.1 Konstruktive Techniken	10
3.2 Berechnungsmethoden	12
3.3 Messtechnik	14
3.4 Versuchstechnik	15
4 Leichtbauweisen	17
4.1 Differenzialbauweise	17
4.2 Integralbauweise	18
4.3 Integrierende Bauweise	19
4.4 Verbundbauweise	19
4.5 Vollwand- und Schalensysteme	21
5 Kriterien für die Werkstoffauswahl	23
5.1 Eigenschaftsgrößen	23
5.2 Linear elastische Kenngrößen	23
5.3 Nichtlinear elastische Kenngrößen	26
5.4 Belastungseigenschaften	28
5.5 Bezogene Werkstoffeigenschaften	30
5.5.1 Spezifisches Volumen	30
5.5.2 Spezifische Steifigkeit	30
5.5.3 Stabilitätswiderstand	30
5.5.4 Reißlänge	30
5.5.5 Werkstoffwertung	31
5.6 Gütekennzahlen	31
5.7 Leichtbaukennzahlen	32
5.8 Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl	36
6 Leichtbauwerkstoffe	38
6.1 Stahl	38
6.1.1 Eigenschaftsmodifikationen	39
6.1.2 Sorten	39
6.1.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften	42
6.2 Eisen-Gusswerkstoffe	42
6.3 Aluminium	43
6.3.1 Eigenschaftsmodifizierungen	44
6.3.2 Al-Knetlegierungen	44
6.3.3 Al-Gusslegierungen	45

- 6.3.4 Physikalisch-mechanische Eigenschaften46
 - 6.3.5 Sinteraluminium47
 - 6.3.6 Schaumaluminium47
- 6.4 Magnesium48
 - 6.4.1 Mg-Legierungen49
 - 6.4.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften51
- 6.5 Titan52
 - 6.5.1 Reintitan52
 - 6.5.2 Ti-Legierungen53
 - 6.5.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften54
- 6.6 Kunststoffe54
- 6.7 Superleichtlegierungen55
- 6.8 Faserverstärkte Werkstoffe57
 - 6.8.1 Faser-Kunststoff-Verbunde57
 - 6.8.1.1 Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)59
 - 6.8.1.2 Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK)60
 - 6.8.1.3 Aramidfaserverstärkte Kunststoffe (AFK)60
 - 6.8.1.4 Verbundfestigkeit61
 - 6.8.2 Faserverstärkte Metalle63

7 Gestaltungsprinzipien im Leichtbau65

- 7.1 Strukturmerkmale66
- 7.2 Konstruktive Prinzipien66

8 Elastizitätstheoretische Grundlagen74

- 8.1 Bauelemente74
- 8.2 Geometrische Beschreibungsgrößen76
 - 8.2.1 Flächenträgheitsmomente76
 - 8.2.2 Steiner'scher Satz77
 - 8.2.3 Flächenträgheitsmomente zusammengesetzter Profile78
 - 8.2.4 Transformierte Flächenträgheitsmomente79
 - 8.2.5 Hauptflächenträgheitsmomente80
- 8.3 Elastizitätsgleichungen81
 - 8.3.1 Verschiebungen und Verzerrungen81
 - 8.3.2 Verzerrungen und Spannungen83
 - 8.3.3 Gleichgewicht84
 - 8.3.4 Ebene Elastizitätsgleichungen86
 - 8.3.4.1 Ebener Spannungszustand86
 - 8.3.4.2 Ebener Verzerrungszustand87
- 8.4 Formänderungsenergie88
- 8.5 Elastizitätsgesetz der stabartigen Elemente89
- 8.6 Elastizitätsgesetze der Flächenelemente91
 - 8.6.1 Scheibenelement91
 - 8.6.2 Plattenelement96
 - 8.6.3 Schalenelement102

9 Dünnwandige Profilstäbe106

- 9.1 Kraftflüsse106
- 9.2 Kraftflüsse und Schnittgrößen109
- 9.3 Querkraftbiegung112

9.3.1 Schubflussverteilung	112
9.3.2 Schubmittelpunkt.....	113
9.3.3 Geschlossene, symmetrische Konstruktionsprofile.....	116
9.3.4 Geschlossene, unsymmetrische Profile	119
10 Torsion von Profilstäben.....	123
10.1 Grundbeziehungen.....	123
10.2 Voll- und Rohrquerschnitte	124
10.3 Geschlossene, dünnwandige Querschnitte	127
10.4 Offene, dünnwandige Querschnitte	130
10.5 Hohlquerschnitte mit Stegen	133
10.6 Verwölbung von Querschnitten.....	135
10.7 Wölbwiderstand einfacher Profile	138
11 Biegung offener Profilstäbe	144
11.1 Allgemeines Normalspannungsproblem	144
11.2 Geometrische Beschreibungsgrößen beliebiger Querschnitte	148
12 Schubwandträger-Profile	152
12.1 Beanspruchungsmodell.....	152
12.2 Kräfte und Momente zufolge des Schubflusses	154
12.3 Schubmittelpunkt von Schubwandträger-Profilen.....	156
12.4 Zusammengesetzte Schubwandträger-Profile	157
13 Schubfeld-Konstruktionen	159
13.1 Schubfeld.....	159
13.2 Ideales Zugfeld	160
14 Ausgesteifte Kastenprofile.....	167
14.1 Viergurtmodell	167
14.2 Torsionsbeanspruchung	169
14.3 Ausschnitte	173
15 Energie- und Arbeitsprinzip.....	177
15.1 Energieprinzip	177
15.2 Arbeitsprinzip	179
15.3 Grundbeziehungen der Mechanik.....	183
16 Statisch unbestimmte Strukturen	184
16.1 Äußere Unbestimmtheit.....	184
16.2 Innere Unbestimmtheit	185
16.2.1 Rahmenstrukturen.....	185
16.2.2 Ebene Fachwerke.....	186
16.2.3 Raumfachwerke	187
16.3 Elastizitätsgleichungen für statisch unbestimmte Strukturen	188
16.4 Geschlossener Rahmen.....	189
17 Sandwichelemente	192
17.1 Aufbauprinzip.....	192
17.2 Werkstoffeigenschaften	194

17.3 Homogener Kern	195
17.3.1 Grundlastfälle	195
17.3.2 Kritische Beanspruchung	200
17.4 Methode der Partialdurchsenkung	202
17.5 Stab-Knicken	205
17.6 Strukturierte Kerne	206
17.6.1 Schubsteifigkeit des Honeycomb-Kerns	206
17.6.2 Tubuskern	211
17.7 Instabilitätsformen	212
18 Stabilität von Stäben und Balken	215
18.1 Grundeffekte	215
18.2 Knicken von Profilstäben	216
18.2.1 Euler'sche Biegeknickfälle	217
18.2.2 Knickung von doppelt- und punktsymmetrischen Profilstäben	220
18.2.3 Knickung von einfach symmetrischen Profilstäben	222
18.2.4 Knickung unsymmetrischer Profile	223
18.3 Elastisch-plastisches Knicken	225
18.4 Kippen	229
19 Beulen von Blechfeldern und Rohren	232
19.1 Beulgleichung	232
19.2 Lösung der Beulgleichung	234
19.3 Einfache Beulfälle	236
19.4 Zusammenstellung von Beulfällen	242
19.5 Rohrbeulen	245
19.6 Versteifte Scheibe	247
19.7 Beulung von Profilen	251
19.8 Bördelung	255
20 Konstruktive Versteifungen	259
20.1 Versteifende Formgebung	259
20.2 Sicken	261
20.2.1 Versteifungswirkung	261
20.2.2 Konstruktive Ausführung	266
20.3 Rippen	268
20.4 Randversteifungen	272
20.5 Durchzüge	272
21 Krafteinleitung	275
21.1 Versteifte Scheibe	275
21.2 Einleitungsgurt konstanter Spannung	281
22 Fügetechniken	284
22.1 Einsatzbreite	284
22.2 Nietung	285
22.2.1 Nietfügungen mit überstehenden Köpfen	286
22.2.2 Nietfügungen mit Senkkopfniete	288
22.2.3 Überlagerte Scher- und Zugbeanspruchung auf Nietfügungen	289
22.3 Schweißung	291

22.3.1	Punktschweißen	292
22.3.2	Reibbrühschweißen	296
22.4	Kleben.....	296
22.4.1	Klebstoffe	296
22.4.2	Grundwerkstoffe	298
22.4.3	Belastungsmodelle.....	299
22.4.4	Spannungsverteilung in schubbeanspruchten Klebeverbindungen	300
22.4.5	Gegenüberstellung verschiedener Lösungsansätze	306
22.4.6	Abschätzung des Normalspannungseinflusses	307
22.4.7	Gestaltungsregeln für Fügen durch Kleben	310
22.4.8	Schwingfestigkeit von Klebefügungen.....	313
22.5	Sonderfügeverfahren	315
23	Strukturoptimierung.....	318
23.1	Mathematischer Optimierungsansatz	318
23.2	Extrema über Strukturkennwert	321
23.3	Einfache Minimalauslegungen	323
23.3.1	Gewichtsminimaler Biegebalken.....	323
23.3.2	Gewichtsminimaler Knickstab	326
23.4	Bionische Optimierung.....	329
23.5	Kerbformoptimierung.....	333
24	Schwingbeanspruchte Strukturen	334
24.1	Konstruktionsphilosophien.....	334
24.2	Problematik des rechnerischen Nachweises.....	335
24.3	Auswertung des Beanspruchungsverlaufs.....	335
24.4	Versagensverhalten.....	341
24.5	Arbeitsmechanische Schadensakkumulation.....	344
24.6	Verbesserung der Aussagegenauigkeit.....	350
24.7	Restfestigkeitsproblem	352
24.8	Allgemeines Rissfortschrittsproblem	359
24.9	Bruchmechanische Akkumulation.....	364
24.10	Nichtlineare Schädigungshypothese.....	367
25	Strukturzuverlässigkeit.....	371
25.1	Zuverlässigkeitsanalyse	371
25.2	Boole'sche Grundanordnungen	371
25.3	Statistische Kenngrößen	374
25.4	Zufallsversagen.....	376
25.5	Früh- und Spätversagen	377
26	Strukturakustik	380
26.1	Ursachen von Geräuschen	380
26.2	Akustisches Verhalten	381
26.3	Körperschallausbreitung	382
26.4	Wellenbeanspruchung	386
26.5	Impedanz	387
26.6	Impedanz einer idealisierten Struktur.....	388
26.7	Quantifizierung von Versteifungsmaßnahmen.....	389
26.8	Einfluss von Werkstoff und Verbindungstechnik	392

Leichtbau-Übungen	394
Literaturverzeichnis	521
Sachwortverzeichnis	528