

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung des Leichtbaus .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Problemstruktur des Leichtbaus .....</b>	<b>3</b>
2.1 Eigengewichtsaufgabe .....	3
2.2 Kostenmodell .....	5
2.3 Konstruktive Rahmen- und Einsatzbedingungen .....	7
2.4 Wertigkeit des Leichtbaus .....	9
<b>3 Methoden und Hilfsmittel im Leichtbau .....</b>	<b>10</b>
3.1 Konstruktive Techniken .....	10
3.2 Berechnungsmethoden .....	12
3.3 Messtechnik .....	14
3.4 Versuchstechnik .....	15
<b>4 Leichtbauweisen .....</b>	<b>17</b>
4.1 Differenzialbauweise .....	17
4.2 Integralbauweise .....	18
4.3 Integrierende Bauweise .....	19
4.4 Verbundbauweise .....	19
4.5 Vollwand- und Schalensysteme .....	21
<b>5 Kriterien für die Werkstoffauswahl .....</b>	<b>23</b>
5.1 Eigenschaftsgrößen .....	23
5.2 Linear elastische Kenngrößen .....	23
5.3 Nichtlinear elastische Kenngrößen .....	26
5.4 Belastungseigenschaften .....	28
5.5 Bezugene 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
<b>6 Leichtbauwerkstoffe .....</b>	<b>38</b>
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 Eigenschaften .....	46
6.3.5 Sinteraluminium .....	47
6.3.6 Schaumaluminium.....	47
6.4 Magnesium .....	48
6.4.1 Mg-Legierungen .....	49
6.4.2 Physikalisch-mechanische Eigenschaften .....	51
6.5 Titan.....	52
6.5.1 Reintitan .....	52
6.5.2 Ti-Legierungen .....	53
6.5.3 Physikalisch-mechanische Eigenschaften .....	54
6.6 Kunststoffe .....	54
6.7 Superleichtlegierungen.....	55
6.8 Faserverstärkte Werkstoffe.....	57
6.8.1 Faser-Kunststoff-Verbunde .....	57
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 Verbundfestigkeit.....	61
6.8.2 Faserverstärkte Metalle .....	63
<b>7 Gestaltungsprinzipien im Leichtbau .....</b>	<b>65</b>
7.1 Strukturmerkmale .....	66
7.2 Konstruktive Prinzipien.....	66
<b>8 Elastizitätstheoretische Grundlagen.....</b>	<b>74</b>
8.1 Bauelemente .....	74
8.2 Geometrische Beschreibungsgrößen .....	76
8.2.1 Flächenträgheitsmomente .....	76
8.2.2 Steiner'scher Satz .....	77
8.2.3 Flächenträgheitsmomente zusammengesetzter Profile.....	78
8.2.4 Transformierte Flächenträgheitsmomente .....	79
8.2.5 Hauptflächenträgheitsmomente .....	80
8.3 Elastizitätsgleichungen .....	81
8.3.1 Verschiebungen und Verzerrungen.....	81
8.3.2 Verzerrungen und Spannungen .....	83
8.3.3 Gleichgewicht.....	84
8.3.4 Ebene Elastizitätsgleichungen .....	86
8.3.4.1 Ebener Spannungszustand.....	86
8.3.4.2 Ebener Verzerrungszustand .....	87
8.4 Formänderungsenergie .....	88
8.5 Elastizitätsgesetz der stabartigen Elemente .....	89
8.6 Elastizitätsgesetze der Flächenelemente.....	91
8.6.1 Scheibenelement.....	91
8.6.2 Plattenelement .....	96
8.6.3 Schalenelement .....	102
<b>9 Dünnwandige Profilstäbe.....</b>	<b>106</b>
9.1 Kraftflüsse .....	106
9.2 Kraftflüsse und Schnittgrößen .....	109
9.3 Querkraftbiegung.....	112

---

9.3.1 Schubflussverteilung .....	112
9.3.2 Schubmittelpunkt.....	113
9.3.3 Geschlossene, symmetrische Konstruktionsprofile.....	116
9.3.4 Geschlossene, unsymmetrische Profile .....	119
<b>10 Torsion von Profilstäben.....</b>	<b>123</b>
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
<b>11 Biegung offener Profilstäbe .....</b>	<b>144</b>
11.1 Allgemeines Normalspannungsproblem .....	144
11.2 Geometrische Beschreibungsgrößen beliebiger Querschnitte .....	148
<b>12 Schubwandträger-Profile .....</b>	<b>152</b>
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
<b>13 Schubfeld-Konstruktionen .....</b>	<b>159</b>
13.1 Schubfeld .....	159
13.2 Ideales Zugfeld .....	160
<b>14 Ausgesteifte Kastenprofile .....</b>	<b>167</b>
14.1 Viergurtmodell .....	167
14.2 Torsionsbeanspruchung .....	169
14.3 Ausschnitte .....	173
<b>15 Energie- und Arbeitsprinzip.....</b>	<b>177</b>
15.1 Energieprinzip .....	177
15.2 Arbeitsprinzip .....	179
15.3 Grundbeziehungen der Mechanik.....	183
<b>16 Statisch unbestimmte Strukturen .....</b>	<b>184</b>
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
<b>17 Sandwichelemente .....</b>	<b>192</b>
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
<b>18</b>	<b>Stabilität von Stäben und Balken .....</b>	<b>215</b>
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
<b>19</b>	<b>Beulen von Blechfeldern und Rohren .....</b>	<b>232</b>
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
<b>20</b>	<b>Konstruktive Versteifungen .....</b>	<b>259</b>
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
<b>21</b>	<b>Krafteinleitung .....</b>	<b>275</b>
21.1	Versteifte Scheibe .....	275
21.2	Einleitungsgurt konstanter Spannung .....	281
<b>22</b>	<b>Fügetechniken .....</b>	<b>284</b>
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 Reibrührschweißen .....	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
<b>23 Strukturoptimierung.....</b>	<b>318</b>
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
<b>24 Schwingbeanspruchte Strukturen .....</b>	<b>334</b>
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
<b>25 Strukturzuverlässigkeit.....</b>	<b>371</b>
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
<b>26 Strukturakustik .....</b>	<b>380</b>
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

<b>Leichtbau-Übungen .....</b>	<b>394</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>521</b>
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>528</b>