

Bernd Klein

Leichtbau- Konstruktion

Berechnungsgrundlagen und Gestaltung

6., überarbeitete Auflage

Mit 270 Abbildungen, 56 Tabellen und
umfangreichen Übungsaufgaben
zu allen Kapiteln des Lehrbuchs

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
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	18
4.4	Verbundbauweise	19
4.5	Vollwand- und Schalensysteme	20
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 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	Faserverstärkte Kunststoffe	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
7	Gestaltungsprinzipien im Leichtbau	65
7.1	Strukturmerkmale	66
7.2	Konstruktive Prinzipien	66
8	Elastizitätstheoretische Grundlagen	74
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
9	Dünnwandige Profilstäbe	106
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
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 Stege.....	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
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 doppel- 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	Schalenförmige Formgebung.....	259
20.2	Sicken.....	261
20.2.1	Versteifungswirkung.....	261
20.2.2	Konstruktive Ausführung.....	266
20.3	Rippen.....	268
20.4	Randversteifungen.....	271
20.5	Durchzüge.....	272
21	Krafteinleitung.....	274
21.1	Versteifte Scheibe.....	274
21.2	Einleitungsgurt konstanter Spannung.....	280
22	Verbindungstechnik.....	283
22.1	Einsatzbreite.....	283
22.2	Nietung.....	284
22.2.1	Nietverbindungen mit überstehenden Köpfen.....	285
22.2.2	Nietverbindungen mit Senkkopfniete.....	287
22.2.3	Überlagerte Scher- und Zugbeanspruchung auf Nietverbindungen... ..	288
22.3	Schweißung.....	290
22.3.1	Punktschweißen.....	291
22.4	Kleben.....	295

22.4.1	Klebstoffe.....	295
22.4.2	Grundwerkstoffe.....	297
22.4.3	Belastungsmodelle.....	298
22.4.4	Spannungsverteilung in Schubbeanspruchten Klebeverbindungen	299
22.4.5	Gegenüberstellung verschiedener Lösungsansätze.....	305
22.4.6	Abschätzung des Normalspannungseinflusses.....	306
22.4.7	Gestaltungsregeln für Klebeverbindungen.....	309
22.4.8	Schwingfestigkeit von Klebeverbindungen.....	312
22.5	Sonderverbindungsverfahren.....	314
23	Strukturoptimierung.....	317
23.1	Mathematischer Optimierungsansatz.....	317
23.2	Elementares Optimalitätsverfahren.....	320
23.3	Einfache Minimalauslegungen.....	322
23.3.1	Gewichtsminimaler Biegebalken.....	322
23.3.2	Gewichtsminimaler Knickstab.....	325
23.4	Vereinfachtes numerisches Optimierungsverfahren.....	328
24	Schwingbeanspruchte Strukturen.....	333
24.1	Konstruktionsphilosophien.....	333
24.2	Problematik des rechnerischen Nachweises.....	334
24.3	Auswertung des Beanspruchungsverlaufs.....	334
24.4	Versagensverhalten.....	340
24.5	Arbeitsmechanische Schadensakkumulation.....	343
24.6	Verbesserung der Aussagegenauigkeit.....	349
24.7	Restfestigkeitsproblem.....	351
24.8	Allgemeines Rissfortschrittsproblem.....	358
24.9	Bruchmechanische Akkumulation.....	363
24.10	Nichtlineare Schädigungshypothese.....	366
25	Strukturzuverlässigkeit.....	370
25.1	Zuverlässigkeitsanalyse.....	370
25.2	Boole'sche Grundanordnungen.....	370
25.3	Statistische Nutzung.....	373
25.4	Zufallsausfälle.....	375
25.5	Früh- und Abnutzungsausfälle.....	376
Leichtbau-Übungen.....		379
Literaturverzeichnis.....		483
Sachwortverzeichnis.....		490