

Konstruktionstechnik und Leichtbau

Methodik · Werkstoff · Gestaltung · Bemessung

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. oec. BERTHOLD KNAUER, Dresden
und Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. ALFRED WENDE, Berlin
unter Mitarbeit eines Autorenkollektivs

Mit 653 Abbildungen und 243 Tabellen



Akademie-Verlag Berlin 1988

Inhalt

Formelzeichenverzeichnis	20
1. Leichtbau als Konstruktionsprinzip	25
1.1. Begriffserläuterung	25
1.2. Leichtbau bei der Erzeugnisentwicklung	27
1.3. Leichtbau im volkswirtschaftlichen Rahmen	30
1.4. Vorzüge und Grenzen	34
<i>Literatur</i>	34
2. Konstruktionstechnische Grundlagen	35
2.1. Konstruktionstechnik	35
2.1.1. Problemstellung	35
2.1.2. Gegenstand	36
2.1.3. Konstruktionsprozeß 1. Ordnung	37
2.1.4. Konstruktionsprozeß 2. Ordnung	39
2.2. Konstruktionsnomenklatur	41
2.3. Zur Aufbereitungsphase	45
2.4. Zur Konzeptphase	47
2.5. Zur Gestaltungsphase	55
<i>Literatur</i>	57
3. Produkterneuerung als Hauptweg für den Leichtbau	59
3.1. Produktionsprofil und wissenschaftlich-technische Revolution	59
3.1.1. Allgemeine Bedingungen	59
3.1.2. Forschung und Produktentwicklung	62
3.1.3. Einfluß auf Hauptkonstruktionsbereiche	63
3.1.3.1. Hüll- und Stützbereich	63
3.1.3.2. Energiebereich	67
3.1.3.3. Informationsbereich	71
3.2. Präzisierung der Aufgabenstellung	75
3.3. Leichtbau und Wirkprinzipien	79
3.4. Leichtbau und Gestaltung	82
3.4.1. Formgebung und Verfahrensauswahl	82
3.4.2. Werkstoffauswahl	82
3.4.3. Dimensionierung	84
3.5. Leichtbau und Überleitung in die Produktion	85
3.6. Leichtbauregeln im Rahmen der Technickentwicklung	87
<i>Literatur</i>	91

4.	Stoffleichtbau	94
4.1.	Gegenstand	94
4.1.1.	Normalbeanspruchung	94
4.1.2.	Verformungen und Instabilität	99
4.1.3.	Stoffgleichungen	102
4.1.4.	Übrige Beanspruchungen	105
4.2.	Metallische Konstruktionswerkstoffe	107
4.2.1.	Werkstoffe mit verbesserten Volumeneigenschaften	107
4.2.2.	Werkstoffe mit verbesserten Oberflächeneigenschaften	110
4.3.	Verbundwerkstoffe	112
4.3.1.	Anwendungsgebiete	112
4.3.2.	Verbundformen	114
4.3.3.	Mechanische Kennwerte von Faser-Einfach-Verbunden	116
4.3.4.	Mechanische Kennwerte von Faser-Misch-Verbunden	119
4.3.5.	Teilehenverbunde	123
4.3.6.	Technische Nutzung der Flächenverbunde	126
4.3.6.1.	Auswahlkriterien	126
4.3.6.2.	Werkstoffliche Aspekte für die Wahl der Kombination	127
4.3.6.3.	Verhalten bei mechanischer Beanspruchung	130
4.3.6.4.	Temperaturspannungen in Flächenverbunden	132
4.3.6.5.	Technologische und gestalterische Aspekte	136
4.4.	Ausgewählte Matrixmaterialien	138
4.4.1.	Ungesättigte Polyester	138
4.4.1.1.	Struktur, Ausgangsstoffe, Herstellung	138
4.4.1.2.	Härtung der ungesättigten Polyesterharze	144
4.4.1.3.	Eigenschaften der ausgehärteten ungesättigten Polyesterharze	155
4.4.2.	Epoxidharze	158
4.4.2.1.	Chemischer Aufbau	158
4.4.2.2.	Härtung, Verarbeitung und Verwendung der Epoxidharze	159
4.4.3.	Phenolharze	164
4.4.3.1.	Nichtmodifizierte Phenolharze	164
4.4.3.2.	Modifizierte Phenolharze	168
4.4.3.3.	Glasfaserverstärkte Phenolharz-Formmassen	172
4.4.3.4.	Härtbare rieselfähige Formmassen auf Basis faserverstärkter Phenolharze	176
4.4.4.	Metallische Matrixmaterialien	178
4.4.5.	Keramische und silikatische Matrixmaterialien	183
4.5.	Ausgewählte Verstärkungsmaterialien	184
4.5.1.	Einleitung	184
4.5.2.	Glasfaserstoffe	189
4.5.2.1.	Glasarten	189
4.5.2.2.	Herstellung	192
4.5.2.3.	Eigenschaften	195
4.5.2.4.	Eindimensionale Materialien	201
4.5.2.5.	Flächenförmige Materialien	204
4.5.2.6.	Sonderformen	208
4.5.3.	Kohlenstofffasern	208
4.5.4.	Borfasern	217
4.5.5.	Whisker	218
4.5.6.	Asbestfasern	219
4.5.7.	Mineral- und keramische Fasern	220
4.5.8.	Weitere anorganische Substrate	223
4.5.9.	Metalle	225

4.5.10.	Organische Verstärkungsmaterialien	226
4.5.10.1.	Aromatische Polyamidfasern (Aramide)	226
4.5.10.2.	Polyvinylalkoholfasern	229
4.5.10.3.	Polyesterfasern	230
4.5.10.4.	Weitere organische Substrate	230
4.5.10.5.	Thermoplasthohlkugeln	231
4.6.	Chemisch-physikalische Grundlagen der Verbundbildung	231
4.6.1.	Einflußgrößen	231
4.6.2.	Benetzung und Tränkung	233
4.6.3.	Haftungsmechanismen	234
4.6.4.	Physikalische Haftmechanismen	237
4.6.4.1.	Adsorptionstheorie	237
4.6.4.2.	Benetzungstheorie	237
4.6.4.3.	Elektrostatistische Theorie	238
4.6.4.4.	Diffusionsbedingte Haftmechanismen	238
4.6.5.	Mechanische Haftmechanismen	239
4.6.6.	Modellvorstellungen und ihre Variationsmöglichkeiten	239
4.6.6.1.	Zur Definition der Zwischenschichten	239
4.6.6.2.	Das Faser-Zwischenschicht-Matrix-Modell	240
4.6.6.3.	Das „Ceraplast“-Prinzip	241
4.6.6.4.	Typische Modellvorstellungen zur Erfassung des Anstrengungs- und Deformations- verhaltens	242
4.6.6.5.	Grenzen der Modellvorstellungen	244
4.7.	Werkstoffprüfung und Eigenschaften	246
4.7.1.	Prüfbedingungen	246
4.7.1.1.	Vorschriften	246
4.7.1.2.	Prüfungen bei Zug- und Druckbeanspruchung	247
4.7.1.3.	Prüfung bei Biegebeanspruchung	250
4.7.1.4.	Prüfung bei Schub- und Torsionsbeanspruchung	250
4.7.2.	Versuchsauswertung	251
4.7.2.1.	Kennwertcharakteristik	251
4.7.2.2.	Projektierungswerte der Plastmaterialien; Nennwerte — Richtwerte	252
4.7.2.3.	Normwerte	252
4.7.2.4.	Rechenwerte	254
4.7.2.5.	Anpassungsfaktoren für Materialien und Konstruktionen	258
4.7.3.	Spezielle Faserverbunde	259
4.7.3.1.	Thermoplastfaserverbunde	259
4.7.3.2.	Duroplastfaserverbunde	270
4.7.4.	Spezielle Teilchenverbunde	274
4.7.4.1.	Thermoplastteilchenverbunde	274
4.7.4.2.	Duroplastteilchenverbunde	278
4.7.5.	Spezielle Mischverbunde	283
4.7.5.1.	Thermoplastmischverbunde	283
4.7.5.2.	Duroplastmischverbunde	287
4.7.6.	Kennwertbereitstellung	296
<i>Literatur</i>	. . . . .	298
5.	Gestaltsleichtbau	314
5.1.	Gegenstand	314
5.1.1.	Grundlagen	314

5.1.2.	Stabtragwerke	315
5.1.2.1.	Beanspruchungsarten	315
5.1.2.2.	Druckbelastung	317
5.1.2.3.	Biegebelastung	324
5.1.2.4.	Torsionsbelastung	326
5.1.2.5.	Verhalten bei kombinierter Beanspruchung	329
5.1.3.	Flächentragwerke	333
5.1.3.1.	Übersicht	333
5.1.3.2.	Unversteifte Platten und Schalen	335
5.1.3.3.	Versteifte Platten und Schalen	338
5.1.4.	Wechselwirkung von Leichtbaukennzahlen und technischer Umsetzung	344
5.2.	Gestaltung und Realisierung von Leichtbauelementen	349
5.2.1.	Einleitung	349
5.2.2.	Verfahrensübersicht zur Herstellung von Leichtbauelementen	353
5.2.3.	Gestaltung und Herstellung von Profilen und schmalen Plattenlaminaten	358
5.2.3.1.	Horizontalstrangzieh Anlagen	359
5.2.3.2.	Vertikalstrangzieh Anlagen	360
5.2.3.3.	Entwicklungstendenzen für das Strangziehverfahren	363
5.2.3.4.	Herstellung von Laminatplatten auf Doppelbandanlagen	367
5.2.4.	Gestaltung und Herstellung von Platten und Schalen	371
5.2.4.1.	Einleitung	371
5.2.4.2.	Verfahren und Anlagen für die Herstellung von ebenen und Well-Platten aus GUP	371
5.2.4.3.	Verfahren und Anlagen für die Herstellung von ebenen Sandwichelementen mit Deckschichten aus Halbzeugen	374
5.2.4.4.	Verfahren und Anlagen zum Wickeln von großen Schalenelementen	377
5.2.4.5.	Schleuderverfahren und Rotations-Harz-Faser-Spritzverfahren zum Herstellen von großen Schalenelementen	383
5.2.5.	Gestaltung und Herstellung von Formteilen	386
5.2.5.1.	Einleitung	386
5.2.5.2.	Gestaltung und Herstellung von Formteilen durch Preßverfahren	387
5.2.5.3.	Gestaltung und Herstellung von Formteilen durch Spritzverfahren und Injektionsverfahren	410
5.2.6.	Neue Entwicklungen des Verbundbildungsprozesses	427
5.2.6.1.	Einleitung	427
5.2.6.2.	Der Tränkprozeß	429
5.2.6.3.	Die Formgebung des Verstärkungsmaterials	430
5.2.6.4.	Der Härtungsprozeß	431
5.3.	Konstruktive Lösungen für einfache und kombinierte Belastungen	431
5.3.1.	Normalbeanspruchte Bauelemente	431
5.3.1.1.	Zug	432
5.3.1.2.	Druck	435
5.3.1.3.	Zug/Druck	436
5.3.2.	Kombinationen	437
5.3.2.1.	Zug—Zug	437
5.3.2.2.	Druck—Druck	439
5.3.2.3.	Druck—Biegung	440
5.3.2.4.	Zug-Druck—Torsion	441
5.3.2.5.	Biegung—Torsion	443
5.3.2.6.	Biegung mit komplexen Lasten	443
5.4.	Kombinierte Beanspruchungen	447
5.4.1.	Einleitung	447
5.4.2.	Mathematische Grundlagen der Anstrengungstheorien	448

5.4.2.1.	Beschreibung des mehrachsigen Spannungszustandes	448
5.4.2.2.	Allgemeine Formulierung der Anstrengungsbedingungen und deren Veranschaulichung	451
5.4.3.	Anstrengungshypothesen für Konstruktionswerkstoffe	452
5.4.3.1.	Vorbemerkung	452
5.4.3.2.	Isotrope Werkstoffe	452
5.4.3.3.	Anisotrope Werkstoffe	461
5.4.4.	Experimentelle Untersuchungen, Ergebnisse und Interpretation	469
5.4.4.1.	Versuchstechnische Realisierung kombinierter Beanspruchungen	469
5.4.4.2.	Ergebnisse experimenteller Untersuchungen bei mehrachsiger Beanspruchung und deren Interpretation	472
5.4.5.	Folgerungen für die Konstruktionspraxis und praktische Berechnungsverfahren	480
5.5.	Differential-, Integral- und Armierungsbauweise	482
5.5.1.	Einleitung	482
5.5.2.	Definitionen und Überblick	482
5.5.3.	Beispiele	486
5.5.3.1.	Metall-Plast-Bauweisen im Fahrzeugbau	486
5.5.3.2.	Camping-Wohnanhänger	491
5.5.3.3.	Gewächshauskonstruktionen	493
5.5.3.4.	Montagepresse-Bauweisen	498
<i>Literatur</i>	. . . . .	499
6.	Bedingungsleichtbau	507
6.1.	Fügetechnik	507
6.1.1.	Klebverbindungen	507
6.1.1.1.	Einordnung des Gesamtgebietes	507
6.1.1.2.	Einsatzbereiche und Klebstoffauswahl	507
6.1.1.3.	Gestaltung von Klebverbindungen	512
6.1.1.4.	Bemessung ebener Verbindungen	516
6.1.1.5.	Rundverbindungen	523
6.1.1.6.	Viskose Materialeinflüsse	526
6.1.1.7.	Prüfungen und Abnahmebedingungen	530
6.1.2.	Schweißen	530
6.1.2.1.	Begriffsbestimmung und Charakter der Bindung	530
6.1.2.2.	Aspekte der Gestaltung von Schweißkonstruktionen	531
6.1.2.3.	Leichtbau durch Schweißkonstruktionen	535
6.1.2.4.	Punktgeschweißte Dünnschleibkonstruktionen	539
6.1.2.5.	Hinweise zur Verfahrensauswahl, Gestaltung und Bewertung von Plastschweißverbindungen	543
6.2.	Zuverlässigkeit von Bauteilen	548
6.2.1.	Begriffsbestimmung	548
6.2.2.	Nachweise bei statischer Beanspruchung	549
6.2.2.1.	Lastannahmen	549
6.2.2.2.	Nachweismethoden	551
6.2.2.3.	Zulässige Spannungen und Dehnungen	552
6.2.2.4.	Grenzzustand Bruch, beliebiger Art	555
6.2.2.5.	Grenzzustand Stabilitätsverlust	557
6.2.2.6.	Grenzzustand Verformung	557
6.2.2.7.	Grenzzustand Dehnung	558
6.3.	Zuverlässigkeitsnachweise bei dynamischer Beanspruchung	558
6.3.1.	Zeit- und Dauerfestigkeit	558
6.3.2.	Spannungs- und Dehnungskonzept für dynamische Lastfälle	566

6.3.3.	Besonderheiten bei faserverstärkten Hochpolymeren	567
6.3.3.1.	Verbundtypische Schädigungsprozesse	567
6.3.3.2.	Eigenerwärmung	568
6.3.3.3.	Zeit- und Dauerschwingverhalten von GFP	570
6.3.3.4.	Zeit- und Dauerschwingverhalten von KFP	571
6.3.3.5.	Besonderheiten bei Biegefedern aus GUP	572
6.4.	Deformationsverhalten bei Temperatureinwirkung	577
6.4.1.	Allgemeines	577
6.4.2.	Einfluß von Temperatureinwirkungen auf die mechanischen Eigenschaften bei Vernachlässigung von thermisch bedingten Alterungen	577
6.4.2.1.	Verformungsverhalten und struktureller Aufbau	577
6.4.2.2.	Grundlagen des viskoelastisch-linearen Verhaltens bei Temperatureinwirkung	581
6.4.2.3.	Kriechverhalten	582
6.4.2.4.	Relaxation	586
6.4.2.5.	Zusammenhang zwischen Kriechen und Relaxation	587
6.4.2.6.	Verhalten bei konstant zunehmender Verformung oder Spannung	588
6.4.2.7.	Verhalten bei schwingender Beanspruchung	592
6.4.2.8.	Schädigungs- und Versagensverhalten	599
6.4.3.	Alterung durch langandauernde Temperatureinwirkung	601
6.4.3.1.	Einführung	601
6.4.3.2.	Theoretische Grundlagen	602
6.4.3.3.	Einfluß einer langandauernden, zeitlich konstanten thermischen Einwirkung	603
6.4.3.4.	Einfluß einer langandauernden, zeitlich intermittierenden thermischen Einwirkung	619
6.4.4.	Einfluß bei komplexen Einwirkungen	620
6.4.4.1.	Einfluß bei thermisch-mechanischer Beanspruchung	620
6.4.4.2.	Einfluß bei thermischer, mechanischer und medialer Beanspruchung	622
<i>Literatur</i>	. . . . .	625
7.	Bauteilberechnung, -bemessung und -gestaltung	636
7.1.	Vollwandkonstruktionen	636
7.1.1.	Ausgeführte Rohrleitungen und Anlagen	636
7.1.1.1.	Konstruktiver Werkstoffeinsatz für Rohrleitungssysteme	636
7.1.1.2.	Spezielle Aussagen zu GUP-Rohren	638
7.1.2.	Beanspruchungsanalyse	642
7.1.2.1.	Schalen unter Innendruck	644
7.1.2.2.	Schalen unter Außendruck	655
7.1.2.3.	Schalen unter Axialdruck	661
7.1.2.4.	Schalen unter Biegung	664
7.1.3.	Optimierter Rohrwandaufbau bei Mischverstärkung	667
7.2.	Strukturschaumstoffkonstruktionen	669
7.2.1.	Begriffsbestimmung, materialökonomische Bedeutung, ausgeführte Konstruktionen	669
7.2.1.1.	Begriffsbestimmung	669
7.2.1.2.	Materialökonomische Bedeutung	670
7.2.1.3.	Ausgeführte Anwendungen und Konstruktionskonzepte	670
7.2.2.	Werkstoffeigenschaften	672
7.2.2.1.	Einführung	672
7.2.2.2.	Mechanische Eigenschaften	674
7.2.2.3.	Physikalische und chemische Eigenschaften	677
7.2.3.	Dimensionierungskriterien	679
7.2.3.1.	Allgemeine Hinweise, Modellannahmen	679
7.2.3.2.	Anwendung des 3-Schicht- oder Sandwichmodells	680
7.2.3.3.	Profilförmige Formteile	684

7.2.4.	Gestaltungshinweise	685
7.2.4.1.	Verfahrens- und werkzeuggerechtes Gestalten	685
7.2.4.2.	Steifigkeits- und festigkeitserhöhendes Gestalten	689
7.2.4.3.	Festigkeitssteigerung durch Einlegteile	693
7.2.4.4.	Einlagerungen zur Kernversteifung und Kernverstärkung	694
7.2.5.	Fügen von Strukturschaumstoff-Formteilen	694
7.2.5.1.	Lösbare Verbindungen	694
7.2.5.2.	Unlösbare Verbindungen	696
7.3.	Sandwichkonstruktionen	697
7.3.1.	Berechnung von ebenen Sandwichelementen	698
7.3.1.1.	Sandwichplattenstreifen, Sandwichbalken	698
7.3.1.2.	Platten und Scheiben	711
7.3.2.	Ausgewählte Aspekte zu Sandwichsystemen	719
7.4.	Versteifte Platten und Schalen	728
7.4.1.	Definitionen	728
7.4.2.	Steifigkeits- und Festigkeitsanforderungen	728
7.4.3.	Nachweis der örtlichen Stabilität bei profilierten Platten	730
7.4.4.	Zusammenführung der Vielfalt der Versteifungsmöglichkeiten	733
7.4.5.	Der Versteifungsfaktor bei orthogonalen Platten	734
7.4.6.	Anwendung der Plattengleichung auf orthogonale Platten	739
7.4.7.	Durchbiegung der allseitig am Umfang eingespannten versteiften Platte	743
7.4.8.	Materialökonomische Effekte durch Versteifungen	745
7.4.9.	Technologisch bedingte Imperfektionen bei Profilierungen	747
7.5.	Ausgewählte Anwendungsbereiche	748
7.5.1.	Allgemeiner Maschinenbau	748
7.5.2.	Luft- und Raumfahrt	751
7.5.3.	Fahrzeugbau	755
7.5.4.	Werkzeugmaschinenbau	757
7.5.4.1.	Arbeitsraumabschirmungen (ARA)	757
7.5.4.2.	Abdeckungen	759
7.5.4.3.	Gestelleinheiten	760
7.5.5.	Elektrotechnik/Elektronik	760
7.5.5.1.	Besonderheiten der Mikroelektronik	760
7.5.5.2.	Materialökonomische Effekte der Mikroelektronik	763
7.5.5.3.	Leichtbaueffekte durch spezielle Anwendungen	765
7.5.5.4.	Leichtbaueffekte durch neue Werkstoffe	767
7.5.6.	Anlagen und Rationalisierungsmittelbau	771
7.5.7.	Meliorationswesen	773
<i>Literatur</i>	. . . . .	777

8.	Leichtbaugerechte Maschinenelemente	784
8.1.	Hochpolymere Konstruktionswerkstoffe für vorwiegend tribologisch beanspruchte Maschinenelemente	784
8.1.1.	Problemstellung	784
8.1.2.	Eigenschaftsspezifik	787
8.1.3.	Kriterien für die Werkstoffauswahl	792
8.2.	Wartungsfreie Gleitlager	795
8.2.1.	Tribologie und Leichtbau	795
8.2.2.	Gebrauchsdauergeschmierte Gleitlager	798
8.2.2.1.	Wirkungsweise	798
8.2.2.2.	Eigenschaften	798
8.2.2.3.	Herstellung, Einsatzgebiete und konstruktive Hinweise	814

8.2.3.	Selbstschmierende Gleitlager	814
8.2.3.1.	Wartungsfreie Gleitlager aus technischer Kohle und Metall-Graphit-Verbundwerkstoffen	814
8.2.3.2.	Verbundlager auf der Basis von Stahl/Plastkombinationen	815
8.2.3.3.	Massive Plastgleitlager	816
8.2.3.4.	Selbstschmierende Gleitlager aus Sonderwerkstoffen	820
8.2.4.	Berechnung wartungsfreier Gleitlager	820
8.2.4.1.	Probleme der Lagerauslegung	820
8.2.4.2.	Statischer Nachweis	821
8.2.4.3.	Thermischer Nachweis	822
8.2.4.4.	Lebensdauerabschätzung	824
8.3.	Zahnräder und Zahnradgetriebe	825
8.3.1.	Gegenwärtiger Stand	825
8.3.2.	Fertigungstechnische Hinweise	827
8.3.3.	Konstruktive Gestaltung	829
8.3.4.	Verzahnungsqualität	832
8.3.5.	Berechnungsgrundlagen	832
8.3.5.1.	Allgemeines zum Betriebsverhalten	832
8.3.5.2.	Berechnung der Zahnradtemperatur	833
8.3.5.3.	Zahnfuß- und Zahnflankentragfähigkeit	835
8.3.5.4.	Zahnflankenverschleiß	842
8.3.5.5.	Zahnverformung	844
8.4.	Kupplungen	845
8.4.1.	Tendenzen des Leichtbaues im Kupplungsbau	845
8.4.2.	Realisierung des Leichtbaues durch den Einsatz von Hochpolymeren für mechanische Kupplungen	846
8.4.3.	Erarbeitung prinzipieller Lösungen für drehelastische Kupplungen aus Hochpolymeren	848
8.4.4.	Dimensionierungsgrundlagen	849
8.4.5.	Kupplungsvarianten und Bewertung	856
<i>Literatur</i>	. . . . .	860
9.	Einsatz experimenteller, methodischer und rechentechnischer Mittel	862
9.1.	Experimentelle Arbeitsweise	862
9.1.1.	Ermittlung vorhandener Beanspruchungen am Originalobjekt	863
9.1.2.	Analogieuntersuchungen	864
9.2.	Rechentechnische Methoden	865
9.2.1.	Grafische und alphanumerische Rechentechnik, Konstrukteurs- und Technologenarbeitsplätze (Hardware)	865
9.2.1.1.	Grundstruktur und Einsatz von CAD-Systemen	866
9.2.1.2.	Ausführungsbeispiele für CAD-Systeme	867
9.2.1.3.	Arbeit am CAD-System	869
9.2.1.4.	Gegenwärtiges Leistungsvermögen und Tendenzen	870
9.2.2.	Unterstützungssysteme	871
9.2.3.	Berechnungs- und Dimensionierungsprogramme	873
9.2.3.1.	Die Berechnung von wartungsfreien Gleitlagern aus Hochpolymeren unter Nutzung des Programmsystems RENDIS	873
9.2.3.2.	Die Berechnung der Spannungen und Verformungen von rotationssymmetrischen Sandwichbauteilen mit Hilfe des Programmpaketes ROSCHA	878
9.2.4.	Mathematische Optimierung	896
9.2.4.1.	Begriffsbestimmung	896
9.2.4.2.	Monetarische Optimierung	898
9.2.4.3.	Polyoptimierung	901

9.2.4.4.	Einordnung von Optimierungsmodellen	902
9.2.4.5.	Einordnung von Optimierungsstrategien	904
9.3.	Gebrauchswert-Kosten-Analyse	904
9.4.	Ausblick	912
<i>Literatur</i>	. . . . .	915

Anhang:

Leichtbau als Konstruktionsprinzip — Verbunde als Entwicklungsaufgabe — ausgewählte Neu- und Weiterentwicklungen — Konstruktionsmaterialien für den Stoffleichtbau — Halbzuge für den Gestaltsleichtbau — Berechnungsunterlagen — Ergänzungen für den Hüll- und Stützbereich — Unterlagen für den ökonomischen Leichtbau	918
--	-----

Sachregister	988
------------------------	-----