

# Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	5
Über die Übersetzer	5
Widmung	5
Danksagung	5
<b>Einleitung</b>	<b>21</b>
Über dieses Buch	21
Vereinbarungen in diesem Buch	22
Was Sie nicht lesen müssen	23
Einige törichte Annahmen	23
Der Aufbau dieses Buches	23
Teil I: Das Rüstzeug für die Festigkeitslehre	23
Teil II: Analyse von Spannungen	24
Teil III: Die Untersuchung von Dehnungen	24
Teil IV: Spannungen und Dehnungen angewandt	25
Teil V: Grau ist alle Theorie: Reale Materialien	25
Teil VI: Der Top-Ten-Teil	25
Symbole in diesem Buch	26
Wie es weitergeht	26
<b>Teil I</b>	
<b>Das Rüstzeug für die Festigkeitslehre</b>	<b>27</b>
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Mithilfe der Festigkeitslehre das Verhalten von Materialien vorhersagen</b>	<b>29</b>
Statik und Dynamik verbinden sich zur Mechanik	29
Definition der Begriffe der Festigkeitslehre	30
Spannung	31
Dehnung	31
Untersuchungen mithilfe der Spannung	31
Untersuchungen mithilfe der Dehnung	32
Einführung des »Materials« in die Festigkeitslehre	32
Mit der Festigkeitslehre arbeiten	32
<b>Kapitel 2</b>	
<b>Wiederholung der Mathematik und der in der Festigkeitslehre verwendeten Einheiten</b>	<b>35</b>
Wichtige geometrische Methoden verstehen	35
Das Lösen von linearen Gleichungssystemen	36

Einfache trigonometrische Beziehungen	37
Etwas elementare Infinitesimalrechnung	38
Integration und Differentiation von Polynomen	38
Bestimmung von Maxima und Minima mithilfe der Differentialrechnung	39
Die Einheiten in der Festigkeitslehre	40
SI-Einheiten	40
Abgeleitete Einheiten, die Sie benötigen	41
Umrechnung von Winkeln von Grad in Radiant	42
 <b>Kapitel 3</b>	
<b>Auffrischung ihrer Statikkenntnisse</b>	<b>43</b>
Das Freischneiden von Körpern	43
Äußere Kräfte	43
Innere Kräfte bei zweidimensionalen Körpern	45
Lager	47
Gewichtskraft	48
Das Gleichgewicht in der Statik	48
Auffinden der inneren Kräfte an einem Punkt	49
Innere Lasten an mehreren Orten bestimmen	50
Verallgemeinerte Gleichungen formulieren	50
Erstellung von Querkraft- und Drehmoment-Diagrammen anhand von Flächenberechnungen	53
 <b>Kapitel 4</b>	
<b>Berechnung der Eigenschaften geometrischer Flächen</b>	<b>59</b>
Querschnittsflächen bestimmen	59
Klassifizierung von Querschnittsflächen	60
Querschnitte berechnen	61
Untersuchung quaderförmige Bauteile	63
Definition der Symmetrie von Querschnitten	63
Bestimmung des geometrischen Mittelpunktes	64
Berechnung des geometrischen Mittelpunktes diskreter Bereiche	65
Mit kontinuierlichen Bereichen arbeiten	69
Verwendung der Symmetrie zur Vermeidung von Mittelpunktsberechnungen	71
 <b>Kapitel 5</b>	
<b>Berechnung von Trägheitsmomenten</b>	<b>73</b>
Auf die Schwerlinie Bezug nehmen	74
Berechnung des Flächenmoments ersten Grades	75
Einführung der Gleichung für das Flächenmoment 1. Grades	75
Berechnung des Mittelpunktes anhand des Flächenmoments	76
Bestimmung des Flächenmoments eines Querschnitts	77
Erstellen einer Tabelle zur Berechnung des Flächenmoments um eine Schwerlinie	79

Zugabe: Ein zweites Flächenmoment	81
Der Begriff des Flächenträgheitsmoments	81
Arten von Flächenträgheitsmomenten	83
Berechnung grundlegender Flächenträgheitsmomente	84
Trägheit kurz gefasst: Einfache Formen und Schwerlinien	84
Änderung des Bezugspunktes: Der Steinersche Satz	88
Arbeiten mit dem biaxialen Flächenträgheitsmoment	91
Berücksichtigung der $x$ - und $y$ -Achsen bei der Berechnung des biaxialen Flächenträgheitsmomentes	91
Das biaxiale Flächenträgheitsmoment berechnen	92
Sich Verdrehen: Das polare Flächenträgheitsmoment	93
Die Hauptträgheitsmomente bestimmen	95
Hauptträgheitsmomente berechnen	96
Die Hauptwinkel berechnen	96
Flächenträgheitsmomente für bestimmte Richtungen bestimmen	97
Den Trägheitsradius betrachten	98

## **Teil II**

### **Analyse von Spannungen 101**

#### **Kapitel 6**

#### **Ruhig bleiben: Es handelt sich nur um Spannungen 103**

Arbeiten mit einer spannungsvollen Beziehung	103
Spannungen berechnen	104
Definition der verschiedenen Arten von Spannung	105
Die Einheiten der Spannung	106
Mit Durchschnittsspannungen stabil bleiben	106
Berechnung der durchschnittlichen Normalspannung für axiale Lasten	107
Bestimmung der durchschnittlichen Schubspannung	108
Spannung in einem Punkt entwickeln	110
Beschreibung der Spannung in einem Punkt mithilfe von Kraftkomponenten	110
Vereinfachung der Darstellung der Spannung in einem Punkt	112
Ebene Spannungszustände	114

#### **Kapitel 7**

#### **Mehr als man sehen kann: Transformation von Spannungen 117**

Vorbereitung zum Umgang mit Spannungen	117
Graphische Darstellung von Spannungen	118
Grundlegende Spannungszustände	118
Einführung einer Vorzeichen-Regel	119
Transformation von Spannungen: Bestimmung der Spannungen für einen festgelegten Winkel in einer Dimension	122
Erweiterung der Transformation von Spannungen auf ebene Spannungszustände	124

Darstellung der Wirkung der transformierten Spannung	126
Spannungskeile	127
Der gedrehte Schnitt	129
Wenn transformierte Spannungen nicht groß genug sind: Hauptspannungen	130
Die Hauptnormalspannungen bestimmen	131
Die Hauptnormalspannungswinkel bestimmen	131
Die Hauptschubspannungen berechnen	134
Die Hauptschubspannungswinkel bestimmen	134
Maximale Schubspannung: In der Ebene oder senkrecht zur Ebene	136
Verwendung des Mohr'schen Spannungskreises	137
Voraussetzungen und Annahmen für den Mohr'schen Spannungskreis	137
Den Mohr'schen Spannungskreis konstruieren	138
Berechnung von Koordinaten und anderen wichtigen Werten im Mohr'schen Spannungskreis	139
Die Hauptnormalspannungen und die Winkel bestimmen	141
Berechnung weiterer Größen mit dem Mohr'schen Spannungskreis	142
Spannungskordinaten unter beliebigen Winkeln mit dem Mohr'schen Spannungskreis bestimmen	143
Den Mohr'schen Spannungskreis auf die dritte Dimension erweitern	144

## **Kapitel 8**

### **Spannungen entlang von Längsachsen ausrichten** **147**

Die Längsspannung definieren	147
Flächenpressungen betrachten	149
Die Flächenpressung auf ebenen Oberflächen	149
Flächenpressung bei gewölbten Flächen	151
Druck in Druckbehältern	152
Der Unterschied zwischen dünn- und dickwandigen Druckbehältern	152
Dünnwandige Druckbehälter näher betrachten	153
Wenn Durchschnittsspannungen einen Höchstwert haben: Maximale Spannungen bestimmen	156
Brutto- und Nettoquerschnitte bei der Berechnung der durchschnittlichen Normalspannung	156
Bestimmung maximaler Spannungen mithilfe von Kraftflusslinien	159
Auf Spannungskonzentrationen konzentrieren	160

## **Kapitel 9**

### **Biegespannungen sind nur normal: Biegebalken untersuchen** **163**

Biegespannung erklären	163
Spannung aufgrund von Biegung	164
Die reine Biegung	166
Grundlegende Annahmen machen	166
Berechnung der bei der reinen Biegung auftretenden Spannungen	167
Die reine Biegung bei symmetrischen Querschnitten	169

**Kapitel 10****Der Wahnsinn der Scherung: Schubspannungen 173**

Untersuchung von Schubspannungen	173
Mit durchschnittlichen Schubspannungen arbeiten	174
Scherung bei Klebe- und Kontaktflächen	175
Scherung bei Bolzen und Wellen	175
Durchstanzen betrachten	178
Schubspannungen aufgrund von Biegebelastung	179
Die Schubspannungsverteilung eines einheitlichen Querschnitts	180
Schubspannungen bei ungleichmäßigen Querschnitten	181
Berechnung von Schubspannungen anhand von Schubflüssen	182
Mit dem Schubfluss schwimmen	182

**Kapitel 11****Sich hin und her winden: Die Torsion 189**

Merkmale der Torsion betrachten	189
Schubspannungen aufgrund von Torsion betrachten	190
Den Schnitt bei der Torsion bestimmen	191
Bestimmung der Torsionskonstanten	191
Schubspannung aus Torsion berechnen	193
Torsion bei kreisförmigen Wellen untersuchen	193
Torsion bei nicht kreisförmigen Querschnitten	195
Behandlung von Torsionsproblemen in dünnwandigen Querschnitten mithilfe des Schubflusses	195
Untersuchung der Torsion von mehrzelligen Querschnitten mithilfe des Schubflusses	197

**Teil III****Die Untersuchung von Dehnungen 201****Kapitel 12****Zerreißen Sie sich nicht: Dehnungen und Verformungen 203**

Die Verformung betrachten, um die Dehnung zu finden	203
Gedehnte Beziehungen: Längen vergleichen	204
Die Einheiten der Dehnung	204
Die Verwendung von Formeln für die technische und die wahre Dehnung	205
Normal- und Schubdehnung: Die Richtung finden	205
Mit der Normaldehnung klar kommen	206
Die Schubdehnung erzeugt einen neuen Winkel	208
Erweiterung um die Wärmedehnung	210
Ebene Dehnungszustände	211

## **Kapitel 13**

### **Übertragung der Prinzipien der Transformation auf die Dehnung 213**

Spannungstransformationen auf ebene Dehnungszustände erweitern	213
Transformation von Dehnungen	214
Graphische Darstellung des gedrehten Elements	215
Bestimmung der Hauptdehnungen und ihrer Lage	217
Die Hauptnormaldehnung bestimmen	217
Bestimmung der Hauptnormaldehnungswinkel	218
Die Hauptschubdehnung berechnen	219
Der Mohr'schen Spannungskreis für ebene Dehnungen	221
Dehnungsmessungen mit DMS-Rosetten	223

## **Kapitel 14**

### **Spannung und Dehnung zueinander in Bezug setzen, um die Verformung zu verstehen 227**

Das Materialverhalten beschreiben	227
Elastisches und plastisches Verhalten: In die Form zurückkehren?	228
Duktile und spröde Materialien: Dehnen oder Brechen?	228
Materialermüdung: Bei wiederholter Belastung nachgeben	229
Daten vergleichbar machen: Spannungs-Dehnungs-Diagramme	231
Die Beziehung zwischen Spannung und Dehnung	231
Auftragung der Spannung gegen die Dehnung, um Materialien zu beschreiben	232
Spannungs-Dehnungs-Kurven für Materialien erklären	232
Die Bereiche der Spannungs-Dehnungs-Kurve bestimmen	233
Die interessanten Punkte im Spannungs-Dehnungs-Diagramm	234
Das Who is Who der Materialeigenschaften	235
Steifigkeit unter Belastung betrachten: Der Elastizitätsmodul	235
Mit der Poissonzahl länger und dünner (oder kürzer und dicker) werden	237
Verknüpfung von Spannung und Dehnung	238
Annahmen, die man bei der Verknüpfung von Spannung und Dehnung machen muss	238
Hooke federt unaufhörlich! Das Hookesche Gesetz in einer Dimension	239
Ein verallgemeinerter Ausdruck für das Hookesche Gesetz in zwei oder drei Dimensionen	240
Die Spannung aus bekannten Dehnungswerten berechnen	242

## **Teil IV**

### **Spannungen und Dehnungen angewandt 245**

## **Kapitel 15**

### **Zusammenfassen von Spannungen 247**

Das Superpositionsprinzip: Ein einfacher Fall von Addition	247
Die Bühne für zusammengefasste Spannungen bereiten	249

Einige einfache Regeln	249
Einige nützliche Vereinbarungen	249
Berücksichtigung mehrerer Längswirkungen	251
Berücksichtigung der Biegung bei zusammengefassten Spannungen	252
Zweiachsiges Biegen aufgrund schräger Belastungen	252
Kombinierte Schubspannungen bei Biegung und Scherung	255
Exzentrische Axiallasten	258
Den zusammengefassten Torsions- und Schubspannungen einen Dreh verpassen	259

## **Kapitel 16**

### ***Wenn Drücken und Schieben zusammenkommen:***

#### ***Arbeiten mit Verformungen*** **261**

Die Grundlagen der Berechnung von Verformungen	261
Die Steifigkeit definieren	262
Einige Grundannahmen	262
Die Verformung von Längsstäben	263
Längsverformungen berechnen	263
Bestimmung relativer Verformungen	264
Flächen mit nicht einheitlichen Querschnitten unter Belastung	267
Durchbiegung von Biegebalken beschreiben	268
Annahmen zur Durchbiegung	268
Die elastische Kurve für Verformungen	269
Integration der Lastenverteilung zur Bestimmung der Verformung	274
Der Verdrillungswinkel	277
Verdrillungswinkel bei Querschnitten, die entlang der Länge gleich bleiben	277
Der Verdrillungswinkel bei zusammengesetzten Torsionsproblemen	279

## **Kapitel 17**

#### ***Bestimmung bei unbestimmten Strukturen*** **283**

Unbestimmte Strukturen anpacken	283
Unbestimmte Strukturen in Kategorien aufgliedern	284
Voraussetzungen für unbestimmte Systeme	284
Stützkräfte wegnehmen: Einführung zusätzlicher Systeme	285
Längsbalken mit unbestimmten Auflagerkräften	286
Systeme aus Längsstäben	287
Biegebalken mit mehreren Lagern	290
Torsion bei Wellen mit unbestimmten Stützkräften	294
Mit mehreren Materialien arbeiten	296
Längsstäbe aus mehreren Materialien	296
Biegung bei mehreren Materialien	298
Torsion von mehreren Materialien	302
Verträglichkeitsbedingungen mithilfe starrer Körper bestimmen	304
Probleme mit starren Balken	304
Längs- und Torsionsbelastung bei starren Verschlusskappen	307

**Kapitel 18****Das Knicken von Druckstäben****309**

Sich mit Stäben vertraut machen	309
Arten von Stäben	310
Den Schlankheitsgrad eines Stabes berechnen	310
Einteilung von Stäben anhand des Schlankheitsgrades	311
Die Festigkeit kurzer Stäbe	312
Unter Druck knicken: Lange, schlanke Stäbe	312
Die Belastbarkeit von Stäben	313
Die elastische Knicklast berechnen	313
Berechnung der elastischen Knickspannung	315
Stützkräfte bei den Knickberechnungen berücksichtigen	315
Arbeiten mit mittleren Stäben	317
Biegewirkungen berücksichtigen	318

**Kapitel 19****Auslegung für die erforderlichen Querschnittskennwerte****321**

Strukturelle Eignung: Formale Richtlinien und Entwicklungsvorschriften	322
Prinzipien des Entwicklungsprozesses	323
Die Festigkeit der Bauteile und Bemessungslasten	323
Aufstellung von Entwicklungskriterien	324
Ausarbeitung einer Entwicklungsmethode	325
Überblick über eine elementare Entwicklungsmethode	325
Entwicklungsanforderungen aufgrund möglicher Versagensmechanismen	326
Auslegung von Längsstäben	327
Rechnung für einfache Zugstäbe	328
Stäbe unter Drucklasten: Die Art des Knickens abschätzen	328
Auslegung von Biegebalken	330
Planung der Biegemomente mithilfe des Widerstandsmoments	331
Berücksichtigung der Schubspannung aus Biegung	334
Berücksichtigung von Leistung und Torsion bei der Entwicklung	334
Wechselwirkungsgleichungen	336

**Kapitel 20****Energiemethoden****337**

Der Energieerhaltung gehorchen	337
Arbeiten mit inneren und äußeren Energien	339
Bestimmung der inneren Dehnungsenergie	339
Die innere Dehnungsenergie ist gleich der äußeren Arbeit	342
Sich selber stützen: Spannungen und Verformungen	
aus der Impaktbelastung	343
Bestimmung der Impaktbelastung aus der kinetischen Energie	343
Energiebeziehungen unter Verwendung vertikaler	
Impaktbelastungsfaktoren	345



## **Teil V**

### ***Grau ist alle Theorie: Reale Materialien***

**347**

#### ***Kapitel 21***

##### ***Häufig leicht zu verformen: Metalle***

**349**

Ein See voller Elektronen: Die metallische Bindung	349
Die elastischen Eigenschaften von Metallen	350
Die Spannungs-Dehnungs-Kurve	351
Plastische Verformung	353
Bildung einer Einschnürung	355
Größen zur Beschreibung der plastischen Verformung	356
Härtungsmechanismen	358
Einbau von Fremdatomen	358
Kaltverfestigung	359
Kleiner ist besser: Der Einfluss der Kristallitgröße	359
Kleine Teilchen einbauen: Die Dispersionshärtung	360
Kriechen und Ermüdung	361
Irgendwann reicht es: Der Ermüdungsbruch	361

#### ***Kapitel 22***

##### ***Starr und rigide: Keramische Werkstoffe und andere spröde Materialien***

**365**

Klassifizierung keramischer Materialien	365
Ionische und kovalente Bindungen	366
Kristalline und amorphe Materialien	367
Mechanische Eigenschaften keramische Materialien	367
Spröde Materialien und Spröbruch	370
Lange Risse sind gefährlich: Das Griffith-Modell	371
Die Zähigkeit: Eine vorteilhafte Eigenschaft	373
Zähigkeit	373
Bruchzähigkeit	373
Biegefestigkeit	374
Wie vermeidet man spröde Brüche?	376

#### ***Kapitel 23***

##### ***Lange Ketten bilden einen Körper: Polymere***

**377**

Definition von Polymeren	377
Wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Polymeren	378
Typen von Polymeren	381
Beispiele für Polymere	382
Der Elastizitätsmodul von Polymeren	383
Anisotropie	384

Nachwirkungen	384
Kriechen	385
Auf die Dauer erfolgt eine Beruhigung: Die Relaxation	387
Zusammenfassung der Zeitabhängigkeit: Anelastizität und Viskoelastizität	387

## **Kapitel 24**

### **Gegenseitige Unterstützung: Verbundwerkstoffe** **389**

Definition von Verbundwerkstoffen	389
Die Wirkungsweise von Verbundwerkstoffen	390
Eine ungeheure Vielzahl: Verbundwerkstoffe	390
Kieselsteine können eine große Wirkung haben:	
Dispersionsverbundwerkstoffe	391
Lang und dünn, aber oho: Faserverbundwerkstoffe	391
Auf die Richtung kommt es an: Schichtverbundwerkstoffe	392
Die Newcomer: Nanoverbundwerkstoffe	393
Die mechanischen Eigenschaften von faserverstärkten Verbundstoffen	394
Arten von faserverstärkten Verbundstoffen	394
Haftung und weitere Eigenschaften	394
Festigkeit	395
Die Mischungsregel: Der Elastizitätsmodul	397
Versagensmechanismen von faserverstärkten Verbundwerkstoffen	399
Erhöhung der Festigkeit/Zähigkeit	401

## **Teil VI**

### **Der Top-Ten-Teil** **405**

## **Kapitel 25**

### **Zehn Stolpersteine in der Festigkeitslehre** **407**

Die Einheiten müssen stimmen	407
Erster Schritt: Bestimmung der inneren Kräfte	407
Wahl der richtigen Querschnittskennwerte	407
Wichtig: Die Symmetrie von Biegebalken	408
Vorsicht bei der Überlagerung von Spannungen und Dehnungen	408
Das allgemeine Hookesche Gesetz in drei Dimensionen	408
Stäbe müssen richtig klassifiziert werden	409
In den Richtungen der Hauptnormalspannungen wirken keine Schubspannungen	409
Prüfung der Hauptspannungswinkel	409
Fallen bei der Anwendung des Mohrschen Spannungskreises	409

### **Stichwortverzeichnis** **411**