

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	XIX
Hinweise zur Programmdiskette	XLI
Bedeutung der Randsymbole	XLII
1 Einleitung	1
1.1 Definition der Festigkeitslehre	2
1.2 Aufgabe der Festigkeitslehre	2
1.3 Prinzip der Festigkeitsberechnung	3
1.4 Festigkeitsbedingung	4
1.5 Versagen	7
1.6 Gliederung des vorliegenden Bandes	10
1.7 Zusammenfassung	12
1.8 Verständnisfragen	13
2 Verformungszustand	15
2.1 Verformungsgrößen	16
2.1.1 Verschiebungsfeld	16
2.1.2 Dehnungen und Schiebungen	17
2.1.3 Indizierung der Verformungsgrößen	19
2.2 Verformungsgrößen und Bezugsrichtungen	20
2.2.1 Verformungen in beliebiger Richtung	21
2.2.2 Mohrscher Verformungskreis	21
2.2.3 Folgerungen aus dem Mohrschen Verformungskreis	23

2.2.4	Hauptdehnungen	23
2.3	Volumendehnung	26
2.4	Dehnungsmessung mit Dehnungsmeßstreifen	27
2.4.1	Aufbau und Wirkungsweise eines DMS	27
2.4.2	Wheatstonesche Brückenschaltung	29
2.4.3	Auswertung der Dehnungsmessungen	32
2.5	Zusammenfassung	35
2.6	Rechnerprogramme	36
2.6.1	Mohrscher Verformungskreis (Programm P2_1)	36
2.6.2	Auswertung einer DMS-Rosette (I) (Programm P2_2)	37
2.7	Verständnisfragen	38
2.8	Musterlösungen	39
2.8.1	Verformungszustand eines Oberflächenelements	39
2.8.2	Auswertung einer DMS-Rosette mit beliebigen Meßrichtungen	42
3	Spannungszustand	45
3.1	Schnittprinzip	46
3.2	Spannungsvektor	47
3.3	Schnittspannungen am Würfelement	48
3.4	Ebener Spannungszustand	52
3.4.1	Spannungen in beliebiger Schnittrichtung	52
3.4.2	Mohrscher Spannungskreis	54
3.4.3	Hauptspannungen	56
3.5	Allgemeiner Spannungszustand	58
3.5.1	Hauptspannungen	58
3.5.2	Darstellung des räumlichen Spannungszustandes	59
3.5.3	Definition des Spannungszustandes	60
3.6	Zusammenhang zwischen Schnittspannungen und äußerer Belastung	61
3.7	Zusammenfassung	63
3.8	Rechnerprogramme	63
3.8.1	Schnittspannungen am Würfelement (Programm P3_1)	63
3.8.2	Mohrscher Spannungskreis (Programm P3_2)	64
3.9	Verständnisfragen	66
3.10	Musterlösungen	68
3.10.1	Schnittspannungen bei ebenem Spannungszustand	68
3.10.2	Schnittreaktionen in einem Balkenquerschnitt	71

4	Linear-elastisches Werkstoffverhalten	75
4.1	Hookesches Gesetz für den einachsigen Spannungszustand	76
4.1.1	Elastizitätsmodul	77
4.1.2	Querkontraktionszahl	79
4.1.3	Schubmodul	81
4.1.4	Zusammenhang zwischen den elastizitätstheoretischen Konstanten	82
4.2	Hookesches Gesetz für den allgemeinen Spannungszustand	82
4.3	Hookesches Gesetz für den ebenen Spannungszustand	84
4.4	Dehnungsbehinderung	85
4.5	Wärmedehnungen und Wärmespannungen	87
4.6	Zusammenfassung	90
4.7	Rechnerprogramme	92
4.7.1	Hookesches Gesetz für allgemeinen Spannungszustand (Programm P4_1)	92
4.7.2	Auswertung einer DMS-Rosette (II) (Programm P4_2)	93
4.8	Verständnisfragen	94
4.9	Musterlösungen	97
4.9.1	Hookesches Gesetz für zweiachsigen Spannungszustand	97
4.9.2	Querdehnungsbehinderte Scheibe	99
5	Grundbelastungsfälle	101
5.1	Zug	103
5.1.1	Spannungen	103
5.1.2	Verformungen	104
5.2	Druck	105
5.3	Gerade Biegung	106
5.3.1	Verformungen	106
5.3.2	Spannungen	108
5.4	Torsion gerader Stäbe mit Kreisquerschnitt	113
5.4.1	Verformungen	113
5.4.2	Spannungen	114
5.4.3	Mohrscher Spannungskreis	117
5.4.4	Verdrehwinkel	117
5.5	Scherung	119
5.6	Zusammenfassung	122
5.7	Verständnisfragen	122
5.8	Musterlösungen	126
5.8.1	Biegung eines Hochsprungstabs	126
5.8.2	Torsionsbeanspruchung einer Schweißkonstruktion	129

6	Werkstoffkennwerte bei zügiger Belastung	133
6.1	Zugversuch	135
6.1.1	Grundlagen	135
6.1.2	Zähes Werkstoffverhalten	137
6.1.3	Sprödes Werkstoffverhalten	145
6.1.4	Beispiele für das Werkstoffverhalten im Zugversuch	146
6.2	Druckversuch	148
6.2.1	Zähes Werkstoffverhalten	149
6.2.2	Sprödes Werkstoffverhalten	150
6.3	Biegeversuch	151
6.4	Torsionsversuch	154
6.4.1	Kennwerte	154
6.4.2	Versagensgrenzen im Torsions- und Zugversuch	156
6.5	Scherversuch	158
6.6	Zusammenfassung	159
6.7	Rechnerprogramme	160
6.7.1	Zugversuch (DIN EN 10002) (Programm P6_1)	160
6.7.2	Feindehnungsmessung beim Zugversuch (P6_2)	161
6.8	Verständnisfragen	162
6.9	Musterlösungen	165
6.9.1	Zugversuch an einer Al-Legierung	165
7	Festigkeitshypothesen	169
7.1	Problemstellung und Lösungsweg	170
7.2	Normalspannungshypothese	172
7.3	Schubspannungshypothese	176
7.4	Gestaltänderungsenergiehypothese	181
7.4.1	Fließbedingung	181
7.4.2	Praktische Anwendung der GH	182
7.5	Vergleich von SH und GH	185
7.6	Anpassung der Festigkeitshypothesen	186
7.7	Vergleichsdehnung	188
7.8	Erweiterte Schubspannungshypothese (Mohrsche Hypothese)	190
7.9	Hencky-Diagramm	194
7.10	Zusammenfassung	197
7.11	Rechnerprogramme	199
7.11.1	Festigkeitshypothesen (Programm P7_1)	199
7.11.2	Auswertung einer DMS-Rosette (III) (Programm P7_2)	200
7.12	Verständnisfragen	202

7.13	Musterlösungen	204
7.13.1	Sicherheitsnachweis für mehrachsige beanspruchte Bauteile aus Feinkornbaustahl und Grauguß	204
8	Kerbwirkung	211
<hr/>		
8.1	Definition von Kerben	212
8.2	Phänomenologische Aspekte von Kerben	214
8.3	Formzahl	216
8.3.1	Definition	216
8.3.2	Ermittlung	219
8.3.3	Formzahldiagramme	222
8.4	Zusammenfassung	222
8.5	Rechnerprogramme	223
8.5.1	Formzahlen (Programm P8_1)	223
8.6	Verständnisfragen	224
8.7	Musterlösungen	226
8.7.1	Spannungsverläufe im gekerbten Flachstab	226
9	Überelastische Beanspruchung	231
<hr/>		
9.1	Werkstofffließkurve	232
9.2	Bauteilfließkurve	237
9.2.1	Glatter Biegestab	239
9.2.2	Glatter Torsionsstab mit Kreisquerschnitt	244
9.2.3	Zugbeanspruchter Kerbstab	245
9.3	Vollplastische Grenzbelastung (Kollaps)	255
9.3.1	Phänomenologie	255
9.3.2	Berechnung der Kollapslast	256
9.3.3	Experimentelle Bestimmung	265
9.4	Eigenspannungen	267
9.4.1	Definition	267
9.4.2	Voraussetzungen für die Entstehung	269
9.4.3	Einfache Beispiele	269
9.4.4	Bestimmung von Eigenspannungen	276
9.4.5	Auswirkung von Eigenspannungen bei statischer Beanspruchung	280
9.4.6	Abminderung von Eigenspannungen	283
9.5	Zusammenfassung	286
9.6	Rechnerprogramme	287
9.6.1	Fließkurven glatter Biegeträger	287

9.6.2	Fließkurve gekerbter Bauteile	288
9.7	Verständnisfragen	289
9.8	Musterlösungen	291
9.8.1	Überelastisch zugbeanspruchtes Doppelkammerrohr	291
10	Sicherheitsnachweis bei statischer Beanspruchung	297
<hr/>		
10.1	Spannungskategorien	298
10.2	Sprödes Bauteilverhalten	299
10.3	Zähes Bauteilverhalten	301
10.3.1	Fließbeginn	302
10.3.2	Begrenzte plastische Verformung	303
10.3.3	Zähbruch	305
10.4	Sicherheitsbeiwerte	306
10.5	Bedeutung der Zähigkeit	308
10.5.1	Metallkundliche Modelle des Spröd- und Zähbruchversagens	309
10.5.2	Definition der Zähigkeit	311
10.5.3	Sicherheitsrelevanz der Zähigkeit	312
10.5.4	Einflußgrößen auf die Bauteilzähigkeit	313
10.5.5	Experimentelle Ermittlung der Zähigkeitskennwerte	314
10.6	Zusammenfassung	320
10.7	Verständnisfragen	321
10.8	Musterlösungen	323
10.8.1	Auslegung einer Sollbruchstelle	323
11	Grundlagen der Schwingfestigkeit	327
<hr/>		
11.1	Einteilung der Berechnungsverfahren	328
11.2	Versagen bei Schwingbeanspruchung	330
11.2.1	Dauerschwingbruch	330
11.2.2	Versagensmodell	332
11.3	Begriffsdefinitionen	334
11.4	Wöhlerlinie	337
11.4.1	Experimentelle Bestimmung	337
11.4.2	Mathematische Beschreibung der Wöhlerlinie	341
11.4.3	Statistische Auswertung	345
11.5	Dauerfestigkeitskennwerte für reine Wechsel- und Schwellbeanspruchung	349
11.5.1	Wechselfestigkeit	350
11.5.2	Schwellfestigkeit	352

11.6	Mittelspannungseinfluß (Dauerfestigkeitsschaubild)	352
11.6.1	Dauerfestigkeitsschaubild nach Haigh	353
11.6.2	Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith	360
11.7	Weitere Einflüsse auf die Schwingfestigkeit	362
11.7.1	Oberflächeneinfluß	362
11.7.2	Größeneinfluß	364
11.7.3	Umgebungseinflüsse	369
11.7.4	Weitere schwingfestigkeitsmindernde Einflüsse	370
11.7.5	Verfahren zur Steigerung der Schwingfestigkeit	373
11.8	Kerbwirkung bei schwingender Beanspruchung	374
11.8.1	Kerbwirkungszahl	374
11.8.2	Berechnungsverfahren	377
11.8.3	Kerbspannungen	384
11.9	Synthetische Bauteilwöhlerlinie	385
11.9.1	Dauerfestigkeit	386
11.9.2	Zeitfestigkeit	389
11.9.3	Sicherheitsnachweis	390
11.10	Berechnungsverfahren für synchrone Belastung	393
11.10.1	Belastung durch eine Komponente	394
11.10.2	Problematik bei Belastung durch mehrere Komponenten	398
11.10.3	Zug und Biegung	400
11.10.4	Rein wechselnde Biegung und Torsion	402
11.10.5	Mittelspannungsbehaftete Biegung und Torsion	406
11.10.6	Allgemeine zweiachsige synchrone Schwingbelastung	412
11.10.7	Anstrengungsverhältnis	418
11.11	Festigkeitskonzepte	423
11.12	Zusammenfassung	426
11.13	Rechnerprogramme	427
11.13.1	Statistische Auswertung von Schwingversuchen als Wöhlerlinie (Programm P11_1)	427
11.13.2	Dauerfestigkeitsschaubild (Programm P11_2)	428
11.13.3	Kerbwirkungszahl (Programm P11_3)	429
11.13.4	Synthetische Wöhlerlinie (Programm P11_4)	430
11.13.5	Sicherheit bei schwingender Beanspruchung mit einer Komponente (Programm P11_5)	431
11.13.6	Sicherheit bei schwingender Beanspruchung mit maximal drei Komponenten (Programm P11_6)	432
11.14	Verständnisfragen	434
11.15	Musterlösung	436
11.15.1	Schwingfestigkeit von Wellen	436

Anhang

A	Ergänzende Grundlagen	445
A1	Verformungen in beliebiger Richtung	446
A2	Spannungszustand in Matrizendarstellung	449
A3	Spannungen in beliebiger Richtung (ebener Spannungszustand)	453
A4	Hauptspannungen und Hauptspannungsrichtungen	457
A5	Mohrsche Kreise für den dreiachsigen Spannungszustand	464
A6	Zusammenhang zwischen den elastizitätstheoretischen Konstanten	469
A7	Allgemeines Hookesches Gesetz in Matrizendarstellung	471
A8	Fließbedingungen und deren physikalische Interpretationen	479
A8.1	Hydrostatischer und deviatorischer Anteil des Spannungstensors	479
A8.2	Grundlegende Eigenschaften von Fließbedingungen	481
A8.3	Fließbedingung nach von Mises	486
A8.4	Physikalische Deutungen der von Mises Fließbedingung	490
A8.4.1	Gestaltänderungsenergie	490
A8.4.2	Oktaederschubspannung	492
A8.4.3	Schubspannungsintensität	494
A8.5	Fließbedingung nach Tresca	497
A8.6	Vergleich der Fließbedingung nach von Mises und nach Tresca	502
A9	Elastizitätstheoretische Grundlagen	504
A9.1	Gleichgewichtsbedingungen für Spannungen	504
A9.2	Verschiebungen und Verformungen	511
A9.3	Kompatibilitätsbedingungen	514
A9.4	Spannungs-Verformungs-Beziehungen	517
A9.5	Randbedingungen	518
A9.6	Eindeutigkeit und Superposition	519
A9.7	Verschiebungs- und Spannungsformulierung	519
A9.7.1	Verschiebungsformulierung	520
A9.7.2	Spannungsformulierung	521
A9.8	Spannungsfunktionen	523
A9.8.1	Airysche Spannungsfunktion	523
A9.8.2	Lösungsmethoden	525
A9.9	Zusammenfassung	529
A10	Formzahl einer Platte mit kreisförmiger Öffnung	531
A10.1	Unendlich große Platte mit kreisförmigem Loch	531
A10.2	Unendlich große Platte mit ellipsenförmigem Loch	538
A11	Fließkurve des Biegebalkens mit Rechteckquerschnitt	540
A12	Kollaps des schwach gekerbten Zugstabs	542

A12.1 Kollapslast	542
A12.2 Constraint-Faktor	543
A12.3 Fließspannung aus Zugversuch	544
A13 Gleitlinientheorie	546
A13.1 Grundgleichungen	546
A13.2 Grafische Veranschaulichung im Mohrschen Spannungskreis	548
A13.3 Gleitlinien	549
A13.3.1 Formänderungen und Geschwindigkeitsfelder	552
A13.3.2 Geometrische Eigenschaften des Gleitlinienfeldes	553
A13.3.3 Ermittlung der Spannungsverteilung aus den Gleitlinien	556
A13.4 Beispiele zur Anwendung der Gleitlinientheorie	557
A14 Kollaps des einseitig gekerbten Biegestabs unter EDZ	562
A14.1 Obere Schranke	562
A14.2 Untere Schranke	563
A15 Ermüdungsnachweis nach der FKM-Richtlinie	565
A15.1 Merkmale der Richtlinie	565
A15.2 Beanspruchungsdaten	567
A15.2.1 Lastspannungen	567
A15.2.2 Vergleichsspannungen	567
A15.3 Werkstoffdaten	569
A15.3.1 Basisdaten	569
A15.3.2 Wechselfestigkeit	569
A15.3.3 Mittelspannungseinfluß	570
A15.4 Konstruktionsdaten	570
A15.4.1 Kerbeinfluß	571
A15.4.2 Oberflächeneinfluß	572
A15.4.3 Randschichteneinfluß	572
A15.5 Ertragbare Bauteildauerfestigkeit	573
A15.6 Beanspruchung im Zeitfestigkeitsgebiet	574
A15.7 Sicherheitsfaktoren	576
A15.8 Festigkeitsnachweis	576
A15.9 Zusammenfassung	578
B Datensammlung	579
<hr/>	
B1 Physikalische Eigenschaften und Werkstoffkennwerte	580
B2 Formzahldiagramme	587
Literatur	599
<hr/>	
Sachverzeichnis	611
<hr/>	

