

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	V
1	Übersicht	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Einteilung der Querschnitte	2
1.3	Hinweise zum Gebrauch des Buches	8
1.4	Bezeichnungen	11
1.5	EDV-Programme auf der RUBSTAHL-CD	13
2	Grundlagen der Stabtheorie	15
2.1	Vorbemerkungen	15
2.2	Prinzipielle Vorgehensweise bei den Berechnungen	15
2.3	Grundgleichungen für die lineare Stabtheorie (Theorie I. Ordnung)	22
2.4	Verschiebungsgrößen	23
2.4.1	Verschiebungen v und w	23
2.4.2	Verschiebungen in Stablängsrichtung	26
2.4.3	Verdrehungen und Krümmungen	30
2.5	Spannungen / Gleichgewichtsbedingungen	32
2.6	Eigenspannungen	35
2.7	Verzerrungen / Verschiebungsgrößen	36
2.8	Werkstoffverhalten	39
2.8.1	<i>Hookesches Gesetz</i>	39
2.8.2	Linearelastisches-idealplastisches Werkstoffverhalten	42
2.8.3	Vergleichspannung und Fließbedingung	43
2.9	Gleichgewicht in Stäben und Stababschnitten	44
2.10	Schnittgrößen als Resultierende der Spannungen	50
2.11	Differentialgleichungen und Randbedingungen	53
2.12	Prinzipien zur Ermittlung von Spannungen und Querschnittskennwerten	57
2.12.1	Normalspannungen σ_x und Normierung der Querschnittskennwerte	57

2.12.2	Schubspannungen τ	60
2.12.3	Normalspannungen σ_s	65
2.13	Gleichgewicht zwischen Gesamtschnittgrößen und Teilschnittgrößen	66
2.14	Stabilität und Theorie II. Ordnung	73
3	Berechnung von Querschnittskennwerten	77
3.1	Übersicht	77
3.2	Ausnutzung von Symmetrieeigenschaften	81
3.3	Normierung Teil I: Schwerpunkt, Hauptachsen, I_y und I_z	83
3.4	Methoden zur Berechnung normierter Querschnittswerte für Teil I	92
3.4.1	Vorbemerkungen	92
3.4.2	Anwendung der Integralrechnung	93
3.4.3	Aufteilung des Querschnitts in Teilflächen	96
3.4.4	Teilflächen aus dünnwandigen Rechtecken	99
3.4.5	Ergänzung und Reduzierung von Querschnitten	101
3.4.6	Basisquerschnitte und elementare zusammengesetzte Querschnittsformen	104
3.4.7	Tabellarische Ermittlung der Querschnittskennwerte	112
3.4.8	Nummerische Integration / Faser- und Streifenmodelle	114
3.4.9	Querschnitte mit polygonalen oder gekrümmten Umrissen	118
3.5	Normierung Teil II: Schubmittelpunkt, normierte Wölbordinate und I_ω	121
3.6	Wölbordinate ω und $\bar{\omega}$	126
3.6.1	Allgemeines	126
3.6.2	Offene Querschnitte	128
3.6.3	Querschnitte mit Hohlzellen	135
3.6.4	Vollquerschnitte	139
3.7	Schubmittelpunkt	139
3.7.1	Bedeutung und Berechnungsmethoden	139
3.7.2	Verwendung von Verformungsbedingungen	141
3.7.3	Verwendung der Schubspannungen	143
3.7.4	Verwendung der Wölbordinate	151
3.8	Wölbflächenmoment 2. Grades I_ω	157

3.9	Torsionsträgheitsmoment I_T	159
3.10	Querschnittskennwerte i_M , r_y , r_z und r_ω	163
4	Tragfähigkeit baustatischer Systeme	167
4.1	Übersicht	167
4.2	Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (E-E)	169
4.3	Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch (E-P)	170
4.4	<i>Bochumer</i> Bemessungskonzept E-P	171
4.5	Beispiele	172
4.5.1	Hinweise zu den Berechnungsbeispielen	172
4.5.2	Deckenträger	174
4.5.3	Zweifeldträger	174
4.5.4	Biegeknicken einer Stütze	178
4.5.5	Biegedrillknicken eines Trägers	180
4.5.6	U-Profil mit planmäßiger Torsion	182
4.5.7	Kragträger mit exzentrischer Belastung	185
4.5.8	Kranbahnträger	188
4.5.9	Winkelprofil	192
4.5.10	Biegedrillknicknachweis für einen Zweigelenkrahmen	193
4.6	Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch (P-P)	198
4.7	Zur Grenztragfähigkeit von Querschnitten und baustatischen Systemen	201
4.7.1	Grundlegende Phänomene	201
4.7.2	Maximales Biegemoment ist größer als M_{pl}	202
4.7.3	Grundlegendes zu den Nachweisverfahren	204
4.7.4	Vollständiges Durchplastizieren und korrespondierende Effekte	207
4.7.5	Abbau und Umlagerung von Schnittgrößen	213
4.8	Tragverhalten von Trägern aus U-Profilen	214
4.9	Tragverhalten von I-Trägern mit Biegung um die schwache Achse	227
5	Ermittlung von Spannungen nach der Elastizitätstheorie	241
5.1	Vorbemerkungen	241
5.2	Normalspannungen σ_x infolge N , M_y und M_z	244

5.3	Schubspannungen τ infolge V_y und V_z	247
5.3.1	Grundsätzliches	247
5.3.2	Berechnungsformel für τ	251
5.3.3	Offene Querschnitte	252
5.3.4	Querschnitte mit Hohlzellen	257
5.4	Spannungen infolge Torsion	270
5.4.1	Grundsätzliches	270
5.4.2	Elementare Querschnittsformen	273
5.4.3	Doppelsymmetrische I-Querschnitte	282
5.4.4	Anschauliche Erläuterung des Wölbmoments	285
5.4.5	Beliebig offene Querschnitte	287
5.4.6	Querschnitte mit Hohlzellen	292
5.4.7	Verwendung der Spannungsfunktion	296
6	Querschnittskennwerte und Spannungen – Berechnungsbeispiele	
6.1	Vorbemerkungen	299
6.2	Doppelsymmetrisches I-Profil	299
6.3	Rechteck-Hohlprofil	302
6.4	Winkelprofil	305
6.5	Einfachsymmetrischer I-Querschnitt	308
6.6	U-Profil	311
6.7	Querschnitt eines H-Bahn-Trägers	314
6.8	Querschnitt mit einer Hohlzelle (Fußgängerbrücke)	320
6.9	Querschnitt mit zwei Hohlzellen	326
7	Nachweise nach DIN 18800	
7.1	Grundsätzliches	339
7.1.1	Normenkonzepte	339
7.1.2	Werkstoffeigenschaften	340
7.1.3	Wahl eines Nachweisverfahrens	341
7.1.4	Überprüfung der b/t -Verhältnisse	343
7.2	Nachweisverfahren Elastisch-Elastisch (E-E)	346

7.2.1	Grundsätze	346
7.2.2	Spannungsnachweise	346
7.2.3	Örtlich begrenzte Plastizierung	347
7.3	Nachweisverfahren Elastisch-Plastisch (E-P)	348
7.3.1	Grundsätze	348
7.3.2	Grenzschnittgrößen im plastischen Zustand	349
7.3.3	Interaktionsbeziehungen	350
7.3.4	Begrenzung von M_{pl} bzw. α_{pl}	351
7.3.5	Momentenumlagerung	352
7.4	Nachweisverfahren Plastisch-Plastisch (P-P)	353
7.4.1	Grundsätze	353
7.4.2	Berücksichtigung oberer Grenzwerte der Streckgrenze	353
7.4.3	Lage von Fließgelenken	354
7.5	Biegeknicken und Biegedrillknicken	354
7.5.1	Übersicht	354
7.5.2	Geometrische Ersatzimperfektionen	355
8	Nachweise nach EC3	359
8.1	Allgemeines	359
8.2	Werkstoffeigenschaften	359
8.3	Einstufung in Querschnittsklassen	361
8.4	Wahl eines Nachweisverfahrens	365
8.5	Beanspruchbarkeiten der Querschnitte	366
8.5.1	Allgemeines	366
8.5.2	Beanspruchbarkeiten bei Querschnitten der Klasse 3	367
8.5.3	Beanspruchbarkeiten bei Querschnitten der Klasse 1 und 2	367
8.6	Biegeknicken und Biegedrillknicken	370
8.7	Weiterführende Literatur	371
9	Grenztragfähigkeit rechteckiger Teilquerschnitte	373
9.1	Vorbemerkungen	373
9.2	Spannungen und Grenzschnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	374
9.2.1	Querschnittskennwerte	374

9.2.2	σ_x infolge N , M_y und M_z	375
9.2.3	τ infolge V_y und V_z	376
9.2.4	τ infolge M_{xp}	376
9.2.5	Grenzschnittgrößen auf Grundlage der Elastizitätstheorie	377
9.2.6	Zusammenwirken aller Schnittgrößen und Nachweise	378
9.3	Grenztragfähigkeit auf Grundlage der Plastizitätstheorie	379
9.3.1	Wirkung einzelner Schnittgrößen	379
9.3.2	Gemeinsame Wirkung von N und M	381
9.3.3	Gemeinsame Wirkung von M_{xp} und V	384
9.3.4	Gleichzeitige Wirkung von N , M , V und M_{xp}	389
9.4	Diskussion der M - V -Interaktion	391
9.5	Diskussion der V - M_{xp} -Interaktion	399
10	Grenztragfähigkeit von Querschnitten nach der Plastizitätstheorie	403
10.1	Vorbemerkungen	403
10.2	Plastische Querschnittsreserven	404
10.3	Berechnungsmethoden und Übersicht	408
10.4	Doppelsymmetrische I-Querschnitte	416
10.4.1	Beschreibung des Querschnitts	416
10.4.2	Vollplastische Schnittgrößen S_{pl}	417
10.4.3	Gleichgewicht zwischen Schnittgrößen und Teilschnittgrößen	420
10.4.4	Gleichzeitige Wirkung der Schnittgrößen N , M_y , M_z , V_y und V_z	422
10.4.5	Vergleich mit den Interaktionsbeziehungen in DIN 18800	425
10.4.6	Gleichzeitige Wirkung aller Schnittgrößen in beliebiger Kombination	431
10.5	Kreisförmige Hohlprofile	438
10.5.1	Allgemeines	438
10.5.2	Querkraft und Torsionsmoment	439
10.5.3	Biegemoment und Normalkraft	443
10.5.4	Gemeinsame Wirkung aller Schnittgrößen	445
10.5.5	Beispiel: Kreisförmiges Hohlprofil 273·8	446
10.6	Rechteckige Hohlprofile	447

10.6.1	Einleitung und Empfehlung	447
10.6.2	Querkräfte und Torsionsmoment	452
10.6.3	Biegemomente und Normalkraft	454
10.6.4	Gemeinsame Wirkung aller Schnittgrößen	458
10.6.5	Beispiel: Rechteckiges Hohlprofil 300-200-8	458
10.7	Drei- und Zweiblechquerschnitte	459
10.7.1	Beschreibung der Querschnitte	459
10.7.2	Transformation der Schnittgrößen	461
10.7.3	Gleichgewicht zwischen Schnittgrößen und Teilschnittgrößen	461
10.7.4	Nachweise bei beliebigen Schnittgrößenkombinationen	463
10.7.5	Berücksichtigung von Blechbiegemomenten	469
10.7.6	Beispiel: HVH-Sonderquerschnitt	471
10.8	L-, T-, I-, U- und Z-Querschnitte	474
10.8.1	Übersicht	474
10.8.2	Beispiel: Auswechselung (L-Querschnitt)	474
10.8.3	Beispiel: Ausgeklinkter Träger (T-Querschnitt)	476
10.9	Näherungsverfahren für beliebige Querschnittsformen (TSV-o.U.)	477
10.9.1	Prinzip des Näherungsverfahrens	477
10.9.2	Durchführung der Berechnungen und Nachweise	477
10.9.3	Hinweise und Empfehlungen	479
10.9.4	Beispiel: Y-förmiger Querschnitt	481
10.10	Computerorientierte Verfahren	484
10.10.1	Problemstellung	484
10.10.2	Dehnungsiteration für ein einfaches Beispiel	485
10.10.3	Dehnungsiteration für σ -Schnittgrößen	488
10.10.4	Berücksichtigung von τ -Schnittgrößen	495
10.10.5	Beispiele / Benchmarks	498
10.11	Begrenzung der Grenzbiegemomente auf $1,25 \cdot M_{el}$	500
10.12	Querschnitte mit Öffnungen / Wabenträger	502
11	Verbundquerschnitte	507
11.1	Allgemeines	507
11.2	Vorschriften	509

11.3	Werkstoffe und Bezeichnungen	509
11.4	Verbundträger	511
11.4.1	Allgemeines	511
11.4.2	Querschnittstragfähigkeit	511
11.4.3	Querschnittskennwerte	519
11.5	Verbundstützen	523
11.5.1	Tragsicherheitsnachweise nach DIN 18800 Teil 5	523
11.5.2	Planmäßig zentrischer Druck	524
11.5.3	Druck und Biegung	527
11.5.4	N-M-Querschnittstragfähigkeit	530
11.5.4.1	Methodik	530
11.5.4.2	Teilweise einbetonierte Stahlprofile	532
11.5.4.3	Volleinbetonierte Stahlprofile	536
11.5.4.4	Ausbetonierte Hohlprofile	539
12	Querschnitte mit breiten Gurten	543
12.1	Problemstellung	543
12.2	Modell der mittragenden Gurtbreite	545
12.3	Mittragende Gurtbreiten nach EC 3 Teil 1-5	546
12.4	Mittragende Gurtbreiten nach DIN 18809	551
12.5	Weiterführende Literatur	552
13	Beulgefährdete Querschnitte	553
13.1	Problemstellung	553
13.2	Methoden und Vorschriften	554
13.3	Beulnachweise nach DIN 18800 Teil 3	560
13.4	Nachweis mit wirksamen Querschnitten nach EC 3	564
	Anhang (Profiltabellen)	569
	Literaturverzeichnis	583
	Sachverzeichnis	593