

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>		<b>V</b>
<b>Autor</b>		<b>VII</b>
<b>Verzeichnis der Berechnungsbeispiele</b>		<b>XVII</b>
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	Buchinhalt (Übersicht)	8
1.3	Technische Baubestimmungen	10
1.4	Bezeichnungen und Annahmen	12
1.5	Downloads	15
1.6	Computerprogramme	16
<b>2</b>	<b>Bemessung und Konstruktion von Bauteilen</b>	<b>17</b>
2.1	Vorbemerkungen	17
2.2	Werkstoff Stahl	17
2.3	Stahlerzeugnisse	22
2.3.1	Einteilung	22
2.3.2	Langerzeugnisse	22
2.3.3	Flacherzeugnisse	27
2.4	Teilsicherheitsbeiwerte	28
2.5	Querschnittsklassen	29
2.6	Tragfähigkeitsnachweise	34
2.7	Querschnittswerte	45
2.7.1	Grundsätzliches	45
2.7.2	Doppelt-symmetrische Querschnitte	46
2.7.3	Einfach-symmetrische Querschnitte	49
2.7.4	Querschnitte ohne Symmetrieachsen	53
2.7.5	Zusätzliche Querschnittswerte für Stabilitätsuntersuchungen	56
2.8	Spannungsermittlung und Nachweise	58
2.8.1	Vorbemerkungen	58
2.8.2	Walzprofil IPE 240	58
2.8.3	Walzprofil HEM 600	60
2.8.4	Rechteckiges Hohlprofil	64
2.8.5	Hohlkastenträger	66
2.8.6	Winkelprofil als Träger	67
2.8.7	H-Bahn-Träger	70

2.8.8	Fußgängerbrücke	76
2.8.9	Profil UPE 180	82
2.9	Plastische Querschnittstragfähigkeit	83
2.9.1	Vorbemerkungen	83
2.9.2	Einfeldriger Deckenträger	84
2.9.3	Zweifeldträger	84
2.9.4	HEA 300 mit Standardbeanspruchungen	88
2.9.5	I-Querschnitt mit ungewöhnlichen Beanspruchungen	91
2.9.6	Rechteckiges Hohlprofil	93
2.9.7	Kastenquerschnitt	96
2.9.8	Kreisförmiges Hohlprofil	97
2.10	Stabilität und Theorie II. Ordnung	99
2.10.1	Vorbemerkungen	99
2.10.2	Einfeldträger IPE 330	99
2.10.3	Zweifeldträger IPE 400	100
2.10.4	Einfeldträger IPE 300 mit Druckkraft und Biegebeanspruchung	103
2.10.5	Eingespannte Rohrstütze	105
2.10.6	Stütze HEA 140 mit planmäßiger Biegung	108
2.10.7	Stütze IPE 300 und Erfassung von drei Stabilitätsfällen	110
2.10.8	Zweifeldrige Giebelwandeckstütze	112
2.10.9	Einfeldträger IPE 450 mit Kragarm	117
2.10.10	Verschiebbliche ebene Rahmen	120
2.10.11	Fachwerkträger	126
<b>3</b>	<b>Stabtheorie und Querschnittswerte</b>	<b>133</b>
3.1	Vorbemerkungen	133
3.2	Stabtheorie	133
3.2.1	Grundsätzliches	133
3.2.2	Lineare Stabtheorie (Theorie I. Ordnung)	139
3.3	Schwerpunkt, Hauptachsen und Hauptträgheitsmomente	142
3.3.1	Querschnittsnormierung Teil I	142
3.3.2	Aufteilung der Querschnitte in Teilflächen	150
3.3.3	Basisquerschnitte und elementare Querschnittsformen	152
3.4	Schubmittelpunkt und weitere Querschnittswerte	157
3.4.1	Querschnittsnormierung Teil II	157
3.4.2	Ermittlung des Schubmittelpunktes mit der Wölbordinate	163
3.4.3	Ermittlung des Schubmittelpunktes mit Schubspannungen	166
3.4.4	Berechnung von $I_{\omega}$ , $I_T$ und $\max \tau$	171
<b>4</b>	<b>Spannungsnachweise</b>	<b>175</b>
4.1	Anwendungsbereiche	175
4.2	Nachweise	175
4.3	Spannungsermittlung	177

4.3.1	Vorbemerkungen	177
4.3.2	Schnittgrößen als Resultierende der Spannungen	177
4.3.3	Erläuterungen zum Wölbmoment	179
4.3.4	Berechnung von Spannungen	181
4.3.4.1	Normalspannungen $\sigma_x$ infolge $N$ , $M_y$ , $M_z$ und $M_\omega$	181
4.3.4.2	Schubspannungen $\tau$ infolge $V_y$ , $V_z$ , $M_{xp}$ und $M_{xs}$	183
4.3.4.3	Doppelt-symmetrische I-Querschnitte	184
4.3.4.4	Rechteckige Hohlprofile	188
4.3.4.5	U-Profile	189
4.3.4.6	Kreisförmige Hohlprofile	190
4.3.4.7	Rechteckige Vollquerschnitte	191
<b>5</b>	<b>Plastische Querschnittstragfähigkeit</b>	<b>193</b>
5.1	Einführung – Rechteckquerschnitt	193
5.1.1	Tragfähigkeitsreserven	193
5.1.2	Grenzschnittgrößen $N_{pl}$ , $M_{pl}$ und $V_{pl}$	194
5.1.3	Gemeinsame Wirkung von $N$ und $M$	194
5.1.4	Gemeinsame Wirkung von $N$ , $M$ und $V$	196
5.2	Anwendungshinweise	197
5.2.1	Grundlagen	197
5.2.2	Schubbeanspruchte Querschnitte	199
5.2.3	Formeln in DIN EN 1993-1-1	202
5.2.4	Teilschnittgrößenverfahren TSV und TSV-plus	203
5.2.5	Computer-Programme	203
5.2.6	Nachweismethoden	204
5.3	Lineare Interaktionsbeziehungen	205
5.4	Doppelt-symmetrische I-Querschnitte	207
5.4.1	Übersicht	207
5.4.2	Plastische Grenzschnittgrößen	207
5.4.3	Schnittgrößen $N$ , $M_y$ und $V_z$	209
5.4.4	Schnittgrößen $N$ , $M_z$ und $V_y$	214
5.4.5	Schnittgrößen $N$ , $M_y$ und $M_z$	217
5.5	I-Querschnitte mit beliebigen Schnittgrößen	221
5.5.1	TSV für alle Stabschnittgrößen	221
5.5.2	Schnittgrößen $V_y$ , $V_z$ , $M_{xp}$ und $M_{xs}$	222
5.5.3	Schnittgrößen $N$ , $M_y$ , $M_z$ und $M_\omega$	224
5.6	Kreisförmige Hohlprofile	228
5.6.1	Allgemeines	228
5.6.2	Plastische Grenzschnittgrößen	229
5.6.3	Schnittgrößen $M_x$ und $V$	230
5.6.4	Schnittgrößen $N$ und $M$	231
5.6.5	Beliebige Kombination aller Schnittgrößen	232
5.6.6	Kriterium nach DIN EN 1993-1-1	233
5.7	Quadratische und rechteckige Hohlprofile	233

5.7.1	Allgemeines	233
5.7.2	Plastische Grenzschnittgrößen	235
5.7.3	Ersatz durch Vierblechquerschnitte	237
5.7.4	Schnittgrößen $V_y$ , $V_z$ und $M_x$	238
5.7.5	Schnittgrößen $N$ , $M_y$ und $M_z$	239
5.7.6	Beliebige Kombination aller Schnittgrößen	243
5.7.7	Kriterien nach DIN EN 1993-1-1	244
5.8	Drei- und Zweiblechquerschnitte (TSV)	245
<b>6</b>	<b>Stabilitätsnachweise für Bauteile</b>	<b>248</b>
6.1	Übersicht	248
6.2	Druckstäbe	250
6.3	Ideale Verzweigungslasten $N_{cr}$	257
6.3.1	Grundlagen	257
6.3.2	Eulerfälle I bis IV	259
6.3.3	Knickbiegelinien und Knicklängen	262
6.3.4	Hinweise zur Berechnung von $N_{cr}$	265
6.3.5	Ersatz von Tragwerksteilen durch Federn	270
6.3.6	Druckstäbe mit Federn an den Enden	273
6.4	Biegebeanspruchte Stäbe	276
6.4.1	Nachweise	276
6.4.2	Bemessungshilfen (Diagramme und Tabellen)	283
6.5	Ideale Biegedrillknickmomente $M_{cr,y}$	290
6.5.1	Stabilitätsproblem Biegedrillknicken	290
6.5.2	Berechnung von $M_{cr,y}$	292
6.5.3	Aufteilung in Teilsysteme	294
6.5.4	Träger mit Randmomenten	296
6.5.5	Kragträger	301
6.5.6	Träger mit einfach-symmetrischen I-Querschnitten	303
6.6	Biege- und druckbeanspruchte Bauteile	304
6.7	Allgemeines Nachweisverfahren für Bauteile	311
<b>7</b>	<b>Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen</b>	<b>315</b>
7.1	Grundsätzliches	315
7.2	Nachweisführung	317
7.3	Imperfektionen	317
7.3.1	Grundlagen	317
7.3.2	Ersatzimperfektionen für die Tragwerksberechnung	318
7.3.3	Bauteilimperfektionen	320
7.3.4	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme	321
7.4	Schnittgrößenermittlung zum Biegeknicken	322
7.4.1	Erläuterungen zum Verständnis	322
7.4.2	Berechnungsformeln	325

7.4.3	Vergrößerungsfaktoren	332
7.4.4	Weggrößenverfahren	345
7.5	Nachweise zum Biegedrillknicken	351
7.5.1	Allgemeines	351
7.5.2	Walzprofilträger	351
7.5.3	Träger mit einfach-symmetrischem I-Querschnitt	354
<b>8</b>	<b>Bemessung und Konstruktion von Verbindungen</b>	<b>357</b>
8.1	Übersicht	357
8.2	Grundsätzliches	357
8.3	Verbindungen mit scherbeanspruchten Schrauben	364
8.3.1	Nachweise und Bemessungshilfen	364
8.3.2	Ermittlung der Schraubenkräfte	366
8.3.3	Flachblechstoß zur Übertragung von N	370
8.3.4	Walzprofilstoß zur Übertragung von N	371
8.3.5	Trägerstoß für M, V und N	373
8.3.6	Gelenkiger Trägeranschluss mit Winkeln	376
8.4	Verbindungen mit zugbeanspruchten Schrauben	379
8.4.1	Übersicht	379
8.4.2	Kraftübertragung bei Trägerstößen	379
8.4.3	Vereinfachte Berechnungsmodelle für Trägerstöße	381
8.4.4	Äquivalenter T-Stummel nach DIN EN 1993-1-8	384
8.4.5	Trägerstoß mit überstehenden Stirnplatten	391
8.4.6	Trägerstoß mit bündigen Stirnplatten	393
8.4.7	Geschraubte Rahmenecke mit Stirnplatte	394
8.5	Verbindungen mit Schweißnähten	395
8.5.1	Übersicht	395
8.5.2	Bemessungshilfen für Kehlnähte	395
8.5.3	Rechnerische Schweißnahtspannungen	396
8.5.4	Halsnähte eines I-Querschnitts	399
8.5.5	Halsnähte eines Kastenquerschnitts	400
8.5.6	Trägerstoß mit Stirnplatte	401
<b>9</b>	<b>Verbindungen mit Schrauben</b>	<b>402</b>
9.1	Einleitung	402
9.2	Orientierungshilfen	402
9.3	Darstellung auf Zeichnungen	404
9.4	Kategorien nach DIN EN 1993-1-8	405
9.5	Löcher für Schrauben – Lochdurchmesser	407
9.6	Kraftübertragung und Tragverhalten	408
9.6.1	Vorbemerkungen	408
9.6.2	Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindungen	408
9.6.3	Kategorien B und C: Kraftübertragung durch Reibung	413

9.6.4	Kategorien D und E: Zugbeanspruchung der Schrauben	413
9.6.5	Kombinierte Zug- und Abscherbeanspruchung	415
9.7	Bemessung nach DIN EN 1993-1-8	417
9.7.1	Vorbemerkungen	417
9.7.2	Werkstoffkennwerte	418
9.7.3	Rand- und Lochabstände	419
9.7.4	Beanspruchbarkeit von Schrauben	421
9.7.5	Hochfeste Schrauben in gleitfesten Verbindungen	425
9.7.6	Lange Schraubenverbindungen	426
9.7.7	Einschnittige Überlappungsstöße mit einer Schraube	426
9.7.8	Einschenkligter Anschluss von Winkelprofilen	427
9.7.9	Querschnittsschwächung durch Schraubenlöcher	428
9.7.10	Anziehen und Vorspannen von geschraubten Verbindungen	430
9.8	Schrauben, Muttern und Scheiben	434
<b>10</b>	<b>Verbindungen mit Schweißnähten</b>	<b>439</b>
10.1	Einleitung	439
10.2	Nahtarten und Darstellung	439
10.3	Spannungen in Schweißnähten	441
10.4	Kehlnähte	443
10.5	Andere Nahtarten	451
<b>11</b>	<b>Statische Berechnungen für Stahlbauten</b>	<b>455</b>
11.1	Allgemeines	455
11.2	Statische Berechnungen	456
11.3	Zeichnungen	457
11.4	Werkstattgebäude mit Pultdach	459
11.4.1	Baubeschreibung	459
11.4.2	Einwirkungen	460
11.4.3	Schnittgrößenermittlung und Nachweisführung	462
11.4.4	Stahltrapezprofil (Pos. 1) auf Pfetten	464
11.4.5	Dachpfetten HEA 120, S235 (Pos. 2)	465
11.4.6	Bauteile in den Achsen 2 und 3	467
11.4.7	Dachträger HEA 220, S235 (Pos. 3)	469
11.4.8	Stützen HEA 140, S235, in der Rückwand (Pos. 5)	470
11.4.9	Eingespannte Stützen HEB 220, S235 (Pos. 8)	472
11.4.10	Bauteile in den Achsen 1 und 4	474
11.4.11	Ortganträger HEA 180, S235 (Pos. 4)	475
11.4.12	Stützen HEA 140, S235, an den Enden der Rückwand (Pos. 7)	476
11.4.13	Eingespannte Stützen HEB 220 im Giebelwandbereich (Pos. 8)	476
11.4.14	Pendelstützen HEA 140, S235, in den Seitenwänden (Pos. 6)	476
11.4.15	Wandverband mit Diagonalen $\varnothing$ 12 mm, S235 (Pos. 9)	477
11.4.16	Anschluss der Pfetten (Pos. 2) an die Dachträger (Pos. 3)	478

11.4.17	Anschluss der Dachträger an die Einspannstützen (Pos. 8)	479
11.4.18	Anschluss der Dachträger an die Rückwandstützen (Pos. 5)	481
11.4.19	Anschluss des Wandverbandes (Pos. 9) an die Stützen	481
11.4.20	Fußpunkt der Pendelstützen (Pos. 5)	482
11.4.21	Fußpunkt der Einspannstützen (Pos. 8)	484
11.5	Lagerhalle mit Zweigelenkrahmen	486
11.5.1	Konstruktionsbeschreibung	486
11.5.2	Einwirkungen nach DIN EN 1991	487
11.5.3	Zweigelenkrahmen in der Rahmenebene	488
11.5.4	Stabilität der Rahmenstiele	492
11.5.5	Stabilität der Rahmenriegel	494
11.5.6	Dachverbände	500
11.5.7	Wandverbände	504
11.5.8	Ortganträger HEA 120	505
11.5.9	Giebelwandstützen HEA 180	505
11.5.10	Firststoß der Zweigelenkrahmen	506
11.5.11	Rahmenecken der Zweigelenkrahmen	508
11.5.12	Fußpunkte der Zweigelenkrahmen	512
<b>12</b>	<b>Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren</b>	<b>515</b>
12.1	Alte, neue und modifizierte Nachweisverfahren	515
12.2	Vergleiche für ausgewählte Basissysteme	516
12.3	Nachweise mit Abminderungsfaktoren (ESV)	521
12.4	Ersatzimperfektionsverfahren (EIV)	523
12.5	Berechnungen nach der Fließzonentheorie (FZT)	525
12.5.1	Übersicht	525
12.5.2	Berechnungsgrundlagen – Stand der Technik	525
12.5.3	Geometrische Imperfektionen	528
12.5.4	Eigenspannungen in Stahlkonstruktionen	528
12.5.4.1	Ursachen, Auswirkungen und Eigenschaften	528
12.5.4.2	Eigenspannungen in gewalzten I-Profilen	529
12.5.4.3	Eigenspannungen in geschweißten I-Profilen	531
12.5.4.4	Ergänzende Hinweise	533
12.5.5	Berechnungsbeispiel Kranbahnträger	533
12.6	Neues Nachweisverfahren SIGMA+	535
12.6.1	Grundlagen	535
12.6.2	Ermittlung der Spannungen	536
12.6.3	Bauteile ohne Fließzonen in Druckbereichen	537
12.6.4	Bauteile mit Fließzonen in Druckbereichen	540
12.6.5	Berechnungsbeispiel Druckstab (Stütze)	542
12.6.6	Hinweise zu den Berechnungen	544
12.6.7	Berechnungsbeispiele (Übersicht)	546
12.7	Stäbe aus gewalzten I-Profilen	547
12.8	Stäbe aus geschweißten I-Profilen	549

---

12.8.1	Berechnungsbeispiel Stütze	549
12.8.2	Berechnungsbeispiel Träger	553
12.8.3	Berechnungsbeispiel Träger mit ungleichen Gurten	559
12.9	Modifizierte Nachweisverfahren	564
12.9.1	Übersicht	564
12.9.2	Modifizierte Ersatzstabverfahren	565
12.9.3	Modifizierte Ersatzimperfectionsverfahren	566
<b>13</b>	<b>Stabilitätsnachweise - Verständnis</b>	<b>567</b>
13.1	Einleitung	567
13.2	Genauere Nachweisverfahren und Näherungsverfahren	569
13.3	Grundlegende Erkenntnisse für Basissysteme	571
13.4	Biegeknicken einer Stütze (Druckstab)	575
13.5	Biegedrillknicken eines Trägers	584
13.6	Biegedrillknicken eines Trägers mit Drucknormalkraft	594
13.7	Biegedrillknicken eines Zweifeldträgers	599
<b>14</b>	<b>Tragfähigkeitsnachweise für Kranbahnträger</b>	<b>603</b>
14.1	Einleitung	603
14.2	Nachweise zur Tragfähigkeit und Stabilität	604
14.2.1	Nachweisverfahren – Grundsätzliches	604
14.2.2	Nachweise nach DIN EN 1993-1-1	605
14.2.2.1	Ersatzstabverfahren (ESV)	605
14.2.2.2	Ersatzimperfectionsverfahren (EIV)	606
14.2.2.3	Fließzonentheorie (FZT)	606
14.2.3	Nachweise nach DIN EN 1993-6	607
14.2.3.1	Ersatzstabverfahren nach Anhang A der Norm	607
14.2.3.2	Biegeknickenachweis gedrückter Gurte	607
14.2.3.3	Andere Verfahren	609
14.2.3.4	Neue bzw. modifizierte Nachweisverfahren	610
14.3	Durchführung der Berechnungen	610
14.3.1	Vorbemerkungen	610
14.3.2	Einwirkungen, Schnittgrößen und Tragverhalten	610
14.3.3	Lastangriff der vertikalen Radlasten	613
14.3.4	Spannungsermittlung	614
14.3.5	Plastische Querschnittstragfähigkeit	615
14.3.6	Anordnung der Radlasten in Trägerlängsrichtung	616
14.3.7	Berechnungen nach der FZT	616
14.4	Berechnungsbeispiele	616
14.4.1	Vorbemerkungen	616
14.4.2	Ergebnisse und Erkenntnisse	617
14.4.3	Beispiel 1 – Einfeldträger HEA 400	620
14.4.4	Beispiel 2 – Zweifeldträger HEB 300	623



---

14.4.5	Beispiel 3 – Einfeldträger Dreiblechquerschnitt	625
14.4.6	Beispiel 4 – Einfeldträger Dreiblechquerschnitt	630
14.4.7	Beispiel 5 – Einfeldträger winkelverstärktes Walzprofil	631
14.4.8	Beispiel 6 – Zweifeldträger winkelverstärktes Walzprofil	633
14.5	Eigenspannungen in Kranbahnträgern	635
14.5.1	Walzprofile und geschweißte Dreiblechquerschnitte	635
14.5.2	Walzprofile mit angeschweißten Winkeln am Obergurt	637
14.5.3	Kranbahnträger mit angeschweißten Kranschienen	638
14.6	Nachweise nach der Fließzonentheorie (FZT)	640
14.6.1	Berechnungsgrundlagen	640
14.6.2	Berechnungsbeispiele	641
14.7	Neues Nachweisverfahren SIGMA+	644
14.8	Modifizierte Ersatzimperfektionsverfahren	648
14.8.1	Nachweisführung	648
14.8.2	Berechnungsbeispiel	650
14.9	Modifizierte Ersatzstabverfahren	652
14.9.1	Grundlagen	652
14.9.2	Nachweise mit plastischen Schnittgrößen	653
14.9.3	Berechnungsbeispiel mit plastischen Schnittgrößen	654
14.9.4	Nachweise mit Spannungen	655
14.9.5	Berechnungsbeispiel mit Spannungen	655
<b>Anhang</b>	<b>Profiltabellen</b>	<b>659</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>680</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>		<b>684</b>