



Bauingenieur-Praxis

Rolf Kindmann

Stahlbau

Teil 1: Grundlagen

6. Auflage

Rolf Kindmann

Stahlbau

Rolf Kindmann

Stahlbau

Teil 1: Grundlagen

6., erweiterte Auflage

Autor

Rolf Kindmann

Ingenieursozietät
Schürmann – Kindmann und Partner
Prinz-Friedrich-Karl-Str. 36
44135 Dortmund

Titelbild: Stahlkonstruktion des Maschinenhauses Kraftwerk Lünen

Foto: Rolf Kindmann

6. erweiterte Auflage 2024

■ Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2024 Ernst & Sohn GmbH, Rotherstraße 21,
10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Print ISBN 978-3-433-03218-3

ePDF ISBN 978-3-433-60886-9

ePub ISBN 978-3-433-60885-2

oBook ISBN 978-3-433-60883-8

Umschlaggestaltung Petra Franke/Ernst & Sohn unter Nutzung eines Entwurfs von Sophie Bleifuß, Berlin

Druck und Bindung

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Vorwort zur 6. Auflage

Zentrale Themen des Buches sind die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Das vorliegende Buch ist als Lehrbuch für Studierende an Technischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen sowie für Ingenieure in der Baupraxis konzipiert. Im Vordergrund stehen das Verständnis für das Tragverhalten, der Zusammenhang mit den theoretischen Grundlagen und die Durchführung zweckmäßiger Nachweise. Besonderer Wert wird auf die Vermittlung von Methoden, Verfahren und Vorgehensweisen gelegt, die mit vielen Bildern und Berechnungsbeispielen veranschaulicht werden.

Der Inhalt des Buches ist wie folgt gegliedert:

- Allgemeines
- Bemessung und Konstruktion von Bauteilen
- Stabtheorie und Querschnittswerte
- Spannungsnachweise
- Plastische Querschnittstragfähigkeit
- Stabilitätsnachweise für Bauteile
- Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen
- Bemessung und Konstruktion von Verbindungen
- Verbindungen mit Schrauben
- Verbindungen mit Schweißnähten
- Statische Berechnungen für Stahlbauten
- Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren (neues Kapitel)
- Tragfähigkeit und Stabilität – Verständnis (neues Kapitel)
- Tragfähigkeitsnachweise für Kranbahnträger (neues Kapitel)

Das Buch enthält zahlreiche Berechnungsbeispiele mit Nachweisen nach DIN EN 1993-1-1 und DIN EN 1993-1-8, die die Anwendung der Bemessungs- und Konstruktionsregeln sowie die Durchführung der Tragfähigkeitsnachweise in allen Einzelheiten zeigen.

Die letzte Auflage aus dem Jahre 2013 wurde vollständig überarbeitet und dem Stand der Technik entsprechend aktualisiert. Dies betrifft sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die sachgerechte Bemessung von Tragwerken und Bauteilen. Darüber hinaus wurde der Umfang des Buches mit fast 180 Seiten beträchtlich erweitert. Die Erweiterungen betreffen im Wesentlichen Folgendes:

- Die Ausführungen zur plastischen Querschnittstragfähigkeit in Kapitel 5 wurden aufgrund neuer Erkenntnisse aktualisiert und erheblich erweitert. Dies betrifft insbesondere die Verwendung linearer Interaktionsbeziehungen und die Nachweisbedingungen für gewalzte und geschweißte I-Querschnitte. Die Abschnitte zu den kreisförmigen und den eckigen Hohlprofilen wurden im Hinblick auf Nachweise für beliebige Schnittgrößenkombinationen beträchtlich ergänzt.

- Im neuen Kapitel 12 „Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren“ werden das Ersatzstabverfahren (Kapitel 6) und das Ersatzimperpektionsverfahren (Kapitel 7) mit Berechnungen nach der Fließzonentheorie und mit einem vom Verfasser neuentwickelten Verfahren SIGMA+ verglichen. Damit wird gezeigt, dass sich teilweise erhebliche Unterschiede bezüglich der Tragfähigkeit und im Hinblick auf den Arbeitsaufwand ergeben.
- Da die klassischen Nachweisverfahren zur Stabilität Black-Box-Verfahren sind, die schematisch angewendet werden müssen, wird in Kapitel 13 im Hinblick auf das Verständnis ausführlich erläutert, welche Auswirkungen Biegeknicken und Biegedrillknicken auf die Tragfähigkeit haben. Im Vordergrund stehen dabei Nachweise mit dem ingenieurmäßig anschaulichen Verfahren SIGMA+ und mit rechnerisch genauen Berechnungen nach der Fließzonentheorie. Die Berechnungsbeispiele in Kapitel 13 zeigen, dass einige Nachweisverfahren für gewisse baustatische Systeme nur bedingt geeignet sind.
- In Kapitel 14 wird die Tragfähigkeit von Kranbahnträgern bei Berücksichtigung des Biegedrillknickens ausführlich behandelt. Die in den Normen enthaltenen Verfahren werden gesichtet und bezüglich Aufwand und Genauigkeit beurteilt. Da im Hinblick auf die unterschiedlichen Anwendungsbereiche Defizite bestehen, wird das neu entwickelte Verfahren SIGMA+ für baupraktische Anwendungen empfohlen. Als Alternativen dazu werden modifizierte Ersatzstabverfahren und Ersatzimperpektionsverfahren vorgeschlagen. Kapitel 14 enthält ausführliche Berechnungsbeispiele.

Auf www.kindmann.de stehen Computerprogramme sowie ein Lehrbuch [21] zum kostenlosen Download zur Verfügung, s. Abschnitte 1.5 und 1.6. Die im Buch enthaltenen Berechnungsbeispiele sind in einem Verzeichnis auf den Seiten XVII bis XIX zusammengestellt.

Autor

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Rolf Kindmann

studierte Bauingenieurwesen an der Ruhr-Universität Bochum. Von 1974 bis 1989 war er für sechs Jahre als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum und für zehn Jahre in verschiedenen Positionen bei Thyssen Engineering tätig, zuletzt als Prokurist und Hauptabteilungsleiter der technischen Büros. 1990 wurde er zum Ordinarius des Lehrstuhls für Stahl- und Verbundbau an der Ruhr-Universität Bochum ernannt und 1991 gründete er die Ingenieursozietät Schürmann – Kindmann und Partner in Dortmund, in der er als Beratender Ingenieur, Prüfenieur für Baustatik (Fachrichtungen Metall- und Massivbau) sowie als Gutachter wirkte.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		V
Autor		VII
Verzeichnis der Berechnungsbeispiele		XVII
1	Allgemeines	1
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
2	Bemessung und Konstruktion von Bauteilen	17
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
3	Stabtheorie und Querschnittswerte	133
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_{ω} , I_T und $\max \tau$	171
4	Spannungsnachweise	175
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 σ_x infolge N , M_y , M_z und M_ω	181
4.3.4.2	Schubspannungen τ 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
5	Plastische Querschnittstragfähigkeit	193
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_ω	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
6	Stabilitätsnachweise für Bauteile	248
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
7	Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen	315
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
8	Bemessung und Konstruktion von Verbindungen	357
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
9	Verbindungen mit Schrauben	402
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
10	Verbindungen mit Schweißnähten	439
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
11	Statische Berechnungen für Stahlbauten	455
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
12	Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren	515
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
13	Stabilitätsnachweise - Verständnis	567
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
14	Tragfähigkeitsnachweise für Kranbahnträger	603
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
Anhang	Profiltabellen	659
Literaturverzeichnis		680
Stichwortverzeichnis		684

Verzeichnis der Berechnungsbeispiele

Abschnitt	Berechnungsbeispiele in Kapitel 2
	Bemessung und Konstruktion von Bauteilen
2.6	Vier Beispiele zu den Stabilitätsfällen bei Stäben, s. Tabelle 2.18
	Querschnittswerte
2.7.2	Geschweißter I-Querschnitt und vergleichbares Walzprofil
2.7.2	Kastenquerschnitt
2.7.3	Einfach-symmetrischer I-Querschnitt
2.7.3	Zusammengesetzter Querschnitt aus einem HEB 300 und einem UPE 200
2.7.3	Querschnitt aus vielen Einzelteilen – Fußgängerbrücke
2.7.4	Unsymmetrischer T-Querschnitt
2.7.4	Z-Querschnitt
2.7.5	Einfeldträger mit einfach-symmetrischem Querschnitt
	Spannungsermittlung und Nachweise
2.8.2	Walzprofil IPE 240
2.8.3	Walzprofil HEM 600
2.8.4	Rechteckiges Hohlprofil
2.8.5	Hohlkastenträger
2.8.6	Winkelprofil als Träger
2.8.7	H-Bahn-Träger
2.8.8	Fußgängerbrücke
2.8.9	Profil UPE 180
	Plastische Querschnittstragfähigkeit
2.9.2	Einfeldriger Deckenträger
2.9.3	Zweifeldträger
2.9.4	HEA 300 mit Standardbeanspruchungen
2.9.5	I-Querschnitt mit ungewöhnlichen Beanspruchungen
2.9.6	Rechteckiges Hohlprofil
2.9.7	Kastenquerschnitt
2.9.8	Kreisförmiges Hohlprofil
	Stabilität und Theorie II. Ordnung
2.10.2	Einfeldträger IPE 330
2.10.3	Zweifeldträger IPE 400
2.10.4	Einfeldträger IPE 300 mit Druckkraft und Biegebeanspruchung
2.10.5	Eingespannte Rohrstütze
2.10.6	Stütze HEA 140 mit planmäßiger Biegung
2.10.7	Stütze IPE 300 und Erfassung von drei Stabilitätsfällen
2.10.8	Zweifeldrige Giebelwandekstütze
2.10.9	Einfeldträger IPE 450 mit Kragarm
2.10.10.2	Zweigelenkrahmen
2.10.10.3	Einhüftiger Rahmen mit Pendelstütze
2.10.11	Fachwerkträger

Abschnitt	Berechnungsbeispiele in den Kapiteln 3 und 5
	Stabtheorie und Querschnittswerte
3.2.2	Einführungsbeispiel Einfeldträger
3.2.2	Beispiel zur Aufteilung in vier Beanspruchungsfälle und Ergebnisse für die lineare Stabtheorie (finite Elemente)
3.3.1	Querschnitt für das Beispiel zur Anwendung der Methoden A und B
3.4.1	Wölbordinate für vier verschiedene Querschnitte
	Plastische Querschnittstragfähigkeit
5.4.3	Berechnungsbeispiel zur N- M_y -Interaktion
5.4.4	Berechnungsbeispiel zur N- M_z -Interaktion
5.4.5	Berechnungsbeispiel zur N- M_y - M_z -Interaktion
5.5.3	Walzprofil IPE 400, Schnittgrößen M_y , M_z und M_w

Abschnitt	Berechnungsbeispiele in den Kapiteln 6 und 7
	Stabilitätsnachweise für Bauteile
6.2	Biegeknicken einer Stütze
6.4.1	Biegedrillknicken eines Trägers
6.4.2	Bemessungshilfen (Diagramme und Tabellen)
6.5.4	Biegedrillknicken Dreifeldträger
6.6	Biegeknicken Druckstab mit Querbelastung
6.7	Einfeldträger IPE 300 mit Druckkraft und Biegemomentenbeanspruchung
	Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen
7.4.3	Baustatische Systeme für drei Beispiele zur Schnittgrößenermittlung mit Vergrößerungsfaktoren
7.4.4	Beispiel zur Anwendung des Weggrößenverfahrens
7.5	Nachweise zum Biegedrillknicken
7.5.2	Walzprofilträger
7.5.3	Träger mit einfach-symmetrischem I-Querschnitt

Abschnitt	Berechnungsbeispiele in den Kapiteln 8, 10 und 11
	Geschraubte und geschweißte Verbindungen
8.3.3	Flachblechstoß zur Übertragung von N
8.3.4	Walzprofilstoß zur Übertragung von N
8.3.5	Trägerstoß für M, V und N
8.3.6	Gelenkiger Trägeranschluss mit Winkeln
8.4.5	Trägerstoß mit überstehenden Stirnplatten
8.4.6	Trägerstoß mit bündigen Stirnplatten
8.4.7	Geschraubte Rahmenecke mit Stirnplatte
8.5.4	Halsnähte eines I-Querschnitts
8.5.5	Halsnähte eines Kastenquerschnitts
8.5.6	Trägerstoß mit Stirnplatte
10.4	Zentrisch und exzentrisch beanspruchte Anschlüsse mit Doppelkehlnähten
	Statische Berechnungen für Stahlbauten
11.4	Werkstattgebäude mit Pultdach 21 Abschnitte mit Nachweisen für Bauteile und Verbindungen
11.5	Lagerhalle mit Zweigelenkrahmen 12 Abschnitte mit Nachweisen für Bauteile und Verbindungen

Abschnitt	Berechnungsbeispiele in den Kapiteln 12, 13 und 14
	Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren
12.1	Drei Basisbeispiele für Vergleichsrechnungen zur Stabilität (Walzprofile)
12.2	Ergebnisse für die Basisbeispiele (Stütze, Träger und Träger mit N)
12.5.5	Berechnungsbeispiel Kranbahnträger (Fließzonen-theorie)
12.6.5	Berechnungsbeispiel Druckstab (Stütze)
12.6.7	Berechnungsbeispiele mit Tragfähigkeitsvergleichen (Verfahren SIGMA+)
12.7	Verfahren SIGMA+ mit Fließzonen – Basisbeispiel Träger
12.8.1	Berechnungsbeispiel geschweißte Stütze
12.8.2	Berechnungsbeispiel geschweißter Träger
12.8.3	Berechnungsbeispiel geschweißter Träger mit ungleichen Gurten
	Tragfähigkeit und Stabilität – Verständnis
13.4	Biegeknicken einer Stütze (Druckstab HEA 200)
13.5	Biegedrillknicken eines Trägers (HEA 400)
13.6	Biegedrillknicken eines Trägers mit Drucknormalkraft (IPE 300)
13.7	Biegedrillknicken eines Zweifeldträgers (IPE 400)
	Tragfähigkeitsnachweise für Kranbahnträger
14.4.3	Kranbahnträger HEA 400 (Einfeldträger, L = 7 m)
14.4.4	Kranbahnträger HEB 300 (Zweifeldträger, L je 6 m)
14.4.5	Kranbahnträger mit Dreiblechquerschnitt (L = 10 m)
14.4.6	Kranbahnträger mit Dreiblechquerschnitt (L = 14 m)
14.4.7	Kranbahnträger HL 1100 B mit Winkeln 250×18 (Einfeldträger, L = 16 m)
14.4.8	Kranbahnträger IPE 600 mit Winkeln 100×10 (Zweifeldträger, L je 7 m)

1 Allgemeines

1.1 Einleitung

Das vorliegende Buch vermittelt das Grundwissen für die Bemessung und Grundkenntnisse für die Konstruktion von Stahlbauten. Die entsprechenden Methoden sind in weiten Bereichen normenunabhängig, für Nachweise zur Tragfähigkeit und zur Gebrauchstauglichkeit sind die maßgebenden Normen zu beachten. Die Grundlage dafür sind die Eurocodes, s. Abschnitt 1.3, und zwar im Wesentlichen DIN EN 1993:

- Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen

Die durchzuführenden Berechnungen und Nachweise werden ausführlich behandelt und im Hinblick auf das Verständnis erläutert. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt bei der Tragfähigkeit von Bauteilen und Verbindungen. Abschnitt 1.2 enthält eine Kurzübersicht zum Inhalt des Buches, die zur Orientierung dienen soll. Als weiterführende Literatur zur Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten wird Folgendes empfohlen:

- Kindmann: Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung [36]
Zentrale Themen des Buches sind die Stabilität von Stahlkonstruktionen, die Ermittlung von Beanspruchungen nach Theorie II. Ordnung und der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit. Die Stabilitätsfälle Biegeknicken, Biegedrillknicken und Plattenbeulen werden ausführlich behandelt und viele Erläuterungen zum Verständnis gegeben.
- Kindmann: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau [32]
In diesem Buch werden die Verbindungstechniken für Anschlüsse, Stöße und Befestigungen ausführlich behandelt und mit vielen Beispielen erläutert. Der Schwerpunkt liegt bei geschraubten und geschweißten Verbindungen, u. a. wird aber auch auf Folgendes näher eingegangen: Kontakt, Kopfbolzendübel, Setzbolzen, Niete, Bolzen, Hammerschrauben, Zuganker, Dübel und Ankerschienen.
- Kraus/Kindmann: Finite-Elemente-Methoden im Stahlbau [38]
Schwerpunkt des Buches sind Berechnungen mit finiten Elementen zur Ermittlung von Schnittgrößen, Verformungen, Verzweigungslasten und Eigenformen. Es wird geklärt, welche finiten Elemente im Hinblick auf baupraktische Anwendungen für lineare und nichtlineare Berechnungen zu verwenden sind.
- Krahwinkel/Kindmann: Stahl- und Verbundkonstruktionen [37]
Das Buch enthält zahlreiche Konstruktionsdetails mit vielen Varianten für den Hallen-, Geschoss- und Brückenbau und einige Berechnungsbeispiele, beispielsweise zu Stahl- und Verbundbrücken.

- Kindmann/Kraus/Niebuhr: STAHLBAU KOMPAKT [26]
Das handliche Heft enthält auf etwa 100 Seiten Profiltabellen für alle gängigen Profile und andere Stahlerzeugnisse sowie darüber hinaus kurze Erläuterungen zu den folgenden Themen: Werkstoff Stahl, geschweißte Verbindungen, geschraubte Verbindungen, Nachweisverfahren, Querschnittstragfähigkeit, Biegeknicke, Biegedrillknicken, Plattenbeulen, Bestellung, Lieferung, Abrechnung, Brandschutz und Vorschriften.

Der Schwerpunkt des vorliegenden Buches liegt bei der Bemessung und Konstruktion von Stahlkonstruktionen für den Hoch- und Industriebau. Die folgenden Fotos zeigen einige Beispiele für typische Tragwerke, Bauteile und Verbindungen.



Bild 1.1 Zweigelenkrahmen einer Fertigungshalle aus Walzprofilen



Bild 1.2 Giebelwandkonstruktion



Bild 1.3 Wand- und Dachverband



Bild 1.4 Rahmenecke mit Voute und Kranbahnträger



Bild 1.5 Gelenkiger Stützenfuß



Bild 1.6 Geschweißte Zweigelenrahmen einer Lagerhalle



Bild 1.7 Dachpfetten, Schrägstreben und Rahmenriegel



Bild 1.8 Rahmenecke



Bild 1.9 Rahmenkonstruktion und Dachpfetten



Bild 1.10 Dachverband und Pfetten



Bild 1.11 Geschraubte Rahmenecke



Bild 1.12 Mittelstütze mit Rahmenecken



Bild 1.13 Giebelwandkonstruktion



Bild 1.14 Fachwerkbinder



Bild 1.15 Auflagerdetail eines Fachwerkbinders



Bild 1.16 Detail Fachwerkbinder mit Stahltrapezblechen

1.2 Buchinhalt (Übersicht)

Die Gliederung des vorliegenden Buches ist mit den Kapitelüberschriften in Tabelle 1.1 zusammengestellt. Zur schnelleren Orientierung werden im Folgenden die Inhalte der Kapitel kurz erläutert.

Tabelle 1.1 Themen der vierzehn Kapitel des Buches

Kapitel	Überschrift
1	Einleitung
2	Bemessung und Konstruktion von Bauteilen
3	Stabtheorie und Querschnittswerte
4	Spannungsnachweise
5	Plastische Querschnittstragfähigkeit
6	Stabilitätsnachweise für Bauteile
7	Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen
8	Bemessung und Konstruktion von Verbindungen
9	Verbindungen mit Schrauben
10	Verbindungen mit Schweißnähten
11	Statische Berechnungen für Stahlbauten
12	Tragfähigkeit und Stabilität – Nachweisverfahren (neu in der 6. Auflage)
13	Stabilitätsnachweise – Verständnis (neu in der 6. Auflage)
14	Tragfähigkeitsnachweise für Kranbahnträger (neu in der 6. Auflage)

Kapitel 1 – Allgemeines

Nach der Einleitung und Erläuterungen zum Inhalt sind in den Abschnitten 1.3 bis 1.5 Vorschriften, Bezeichnungen und Hinweise zu Computerprogrammen zusammengestellt.

Kapitel 2 – Bemessung und Konstruktion von Bauteilen

Dies ist das zentrale Kapitel des Buches für die Bemessung von Bauteilen, da es zahlreiche Berechnungsbeispiele und die unmittelbar dazu erforderlichen Grundlagen enthält. In den Abschnitten 2.1 bis 2.6 werden folgende Themen behandelt: Werkstoff Stahl, Stahlerzeugnisse, Teilsicherheitsbeiwerte, Querschnittsklassen und Nachweise. Die Abschnitte 2.7 bis 2.10 betreffen die Berechnungsbeispiele, die den folgenden Themen zugeordnet sind: Querschnittswerte, Spannungsermittlung und Nachweise, plastische Querschnittstragfähigkeit, Stabilität und Theorie II. Ordnung.