

Stahlbau

Teil 1: Grundlagen
Mit Beispielen nach Eurocode 3

Rolf Kindmann, Ulrich Krüger

Bauingenieur-Praxis



Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Rolf Kindmann, Ulrich Krüger

Stahlbau

Teil 1: Grundlagen

Mit Beispielen nach Eurocode 3

5. Auflage



Ernst & Sohn
A Wiley Brand

Stahlbau

Teil 1: Grundlagen

Mit Beispielen nach Eurocode 3

Rolf Kindmann, Ulrich Krüger

Rolf Kindmann
Tinkmühlenweg 16a
44536 Lünen, Deutschland

Ulrich Krüger
Hermann-Rombach-Str. 22
74321 Bietigheim-Bissingen, Deutschland

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Kindmann lehrt Stahl- und Verbundbau an der Ruhr-Universität Bochum und ist Gesellschafter der Ingenieursozietät Schürmann-Kindmann und Partner, Dortmund.
Prof. Dr.-Ing. Ulrich Krüger war Professor für Stahlbau und Baustatik an der Fachhochschule Karlsruhe und Prüflingenieur für Baustatik.

Titelbild: Stahlkonstruktion des Maschinenhauses Kraftwerk Lünen
(Foto: Rolf Kindmann)

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.

© 2013 Wilhelm Ernst & Sohn,
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 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 Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren –
reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungs-
maschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of
this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other
means – nor transmitted or translated into a machine language without written
permission from the publisher.

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 als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: stilvoll® | Werbe- und Projektagentur, Kappelrodeck
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Druck: betz-Druck GmbH, Darmstadt

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

5. neu bearbeitete Auflage
Print ISBN: 978-3-433-03003-5
ePDF ISBN: 978-3-433-60290-4
ePub ISBN: 978-3-433-60289-8
eMob ISBN: 978-3-433-60328-4
oBook ISBN: 978-3-433-60256-0

Vorwort des Verlages

Mit dem vorliegenden Werk wurde die 5. Auflage von Stahlbau Teil 1: Grundlagen in der Reihe Bauingenieur-Praxis fertig gestellt – völlig neu bearbeitet durch Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Kindmann.

Der Begründer des zweiteiligen Werkes Stahlbau in der Reihe Bauingenieur-Praxis Herr Prof. Dr.-Ing. Ulrich Krüger überarbeitete seine als Skripten für die Studierenden an der FH Karlsruhe ab 1992 herausgegebenen Unterlagen. Zu jener Zeit wurde die neue Norm für den Stahlbau, DIN 18800 Teile 1 bis 4, in die Praxis überführt. Die Skripten und die Buchpublikation dienten der Ausstattung einer jungen Anwendergeneration mit praxisnahem Rüstzeug einerseits und den erfahrenen Praktikern als Nachschlagewerk bei der Einarbeitung in die neue Norm andererseits.

Von 1998 bis 2007 ist das Buch Stahlbau Teil 1: Grundlagen in vier Auflagen erschienen. Für die Fortführung des erfolgreichen Werkes konnte in enger Abstimmung zwischen Autoren und Verlag Herr Prof. Dr.-Ing. Rolf Kindmann gewonnen werden. Auf diese Weise erschien bereits im Jahr 2008 die durch Herrn Professor Kindmann vollständig neubearbeitete, 4. Auflage des zweiten Bandes Stahlbau Teil 2: Stabilität und Theorie II. Ordnung.

Der Verlag Ernst & Sohn dankt Herrn Professor Krüger für die fruchtbare Zusammenarbeit und die stets verlässliche Aktualisierung und Ergänzung seines Werkes. Im Vorwort zur 1. Auflage schrieb er: „Wenn das Buch Studierenden die Einführung in das Fachgebiet Stahlbau erleichtert und bei vielen Stahlbauern während der täglichen Arbeit in Griffnähe liegt und brauchbare Hilfe gibt, ist für mich das Ziel der Herausgabe erreicht.“ Bei Studenten, Berufsanfängern und Bauingenieuren mit langjähriger Berufspraxis gleichermaßen fanden und finden diese beiden Bücher unvermindert großen Anklang – sie schlossen zunächst eine Lücke in der Fachliteratur und gehören heute zu den „Klassikern“, deren Neuauflagen dank der sorgfältigen, nachhaltigen Bearbeitung auf dem Schreibtisch oder im Regal nicht fehlen dürfen.

Ebenfalls gilt der Dank des Verlages Herrn Professor Kindmann, der bei voller Last am Lehrstuhl für Stahl-, Holz- und Leichtbau der Ruhr-Universität Bochum und in der Ingenieursozietät Schürmann – Kindmann und Partner GbR, Dortmund stets Zeit und Muße fand, zielstrebig Fachbücher zu konzipieren und zu verfassen, die als unverzichtbar gelten.

Die Leser mögen Kontinuität und Neubearbeitung dieses Praxisbuches zu schätzen wissen.

Berlin, im März 2013

Verlag Ernst & Sohn

Vorwort zur 5. Auflage

Zeitnah zur Umstellung auf die neue Normengeneration erscheint die 5. Auflage des Buches in einer kompletten Neubearbeitung, in der die neuen Normen, neue Nachweismethoden und der aktuelle Stand der Technik berücksichtigt werden. Im Vordergrund stehen dabei die grundlegenden Eurocodes für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: DIN EN 1993-1-1 „Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“ sowie DIN EN 1993-1-8 „Bemessung von Anschlüssen“.

Das zentrale Thema des Buches sind die Grundlagen zur Bemessung und Konstruktionen von Bauteilen und Verbindungen für Stahlbauten. Zur Vermittlung der entsprechenden Fachkompetenz ist das Buch in elf Kapitel unterteilt:

- 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

Das Buch enthält auf ca. 200 Seiten zahlreiche Berechnungsbeispiele, die die Anwendung der Bemessungs- und Konstruktionsregeln sowie die Durchführung von Tragfähigkeitsnachweisen in allen Einzelheiten zeigen. Neben vielen Beispielen zu einzelnen Schwerpunktthemen werden auch statische Berechnungen für zwei Hallenkonstruktionen im Gesamtzusammenhang behandelt. Das vorliegende Lehrbuch ist für Studierende an Technischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen sowie für in der Baupraxis tätige Ingenieure konzipiert.

Das Manuskript der 5. Auflage wurde am Bochumer Stahlbaulehrstuhl erstellt. Die Verfasser danken Frau Dipl.-Ing. Ebel, Herrn Dipl.-Ing. Jonczyk, Herrn Dipl.-Ing. Ludwig und Herrn Dipl.-Ing. Käismaier für ihre Hinweise und Kontrollen sowie Herrn Steinbach und Herrn Angelstorf für ihre Mitwirkung bei der Erstellung der Bilder und des Manuskriptes. Besonders gedankt sei an dieser Stelle Herrn Prof. Dr.-Ing. Vette, der durch viele wertvolle Anregungen und Vorschläge wesentlich zum Gelingen beigetragen hat.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Allgemeines	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Erläuterungen zum Inhalt	7
1.3 Technische Baubestimmungen	9
1.4 Bezeichnungen und Annahmen	11
1.5 RUBSTAHL-Programme	14
2 Bemessung und Konstruktion von Bauteilen	15
2.1 Vorbemerkungen	15
2.2 Werkstoff Stahl	15
2.3 Stahlerzeugnisse	20
2.3.1 Einteilung	20
2.3.2 Langerzeugnisse	20
2.3.3 Flacherzeugnisse	25
2.4 Teilsicherheitsbeiwerte	26
2.5 Querschnittsklassen	27
2.6 Nachweise	32
2.7 Querschnittswerte	43
2.7.1 Grundsätzliches	43
2.7.2 Doppelsymmetrische Querschnitte	44
2.7.3 Einfachsymmetrische Querschnitte	47
2.7.4 Querschnitte ohne Symmetrieachsen	51
2.7.5 Zusätzliche Querschnittswerte für Stabilitätsuntersuchungen	54
2.8 Spannungsermittlung und Nachweise	56
2.8.1 Vorbemerkungen	56
2.8.2 Walzprofil IPE 240	56
2.8.3 Walzprofil HEM 600	58
2.8.4 Rechteckiges Hohlprofil	62
2.8.5 Hohlkastenträger	64
2.8.6 Winkelprofil als Träger	65
2.8.7 H-Bahn-Träger	68
2.8.8 Fußgängerbrücke	74
2.8.9 Profil UPE 180	80
2.9 Plastische Querschnittstragfähigkeit	81
2.9.1 Vorbemerkungen	81
2.9.2 Einfeldriger Deckenträger	82
2.9.3 Zweifeldträger	82
2.9.4 HEA 300 mit Standardbeanspruchungen	86

2.9.5	I-Querschnitt mit ungewöhnlichen Beanspruchungen	89
2.9.6	Rechteckiges Hohlprofil	92
2.9.7	Kreisförmiges Hohlprofil	94
2.10	Stabilität und Theorie II. Ordnung	96
2.10.1	Vorbemerkungen	96
2.10.2	Einfeldträger IPE 330	96
2.10.3	Zweifeldträger IPE 400	97
2.10.4	Einfeldträger IPE 300 mit Druckkraft und Biegebeanspruchung	100
2.10.5	Eingespannte Rohrstütze	102
2.10.6	Stütze HEA 140 mit planmäßiger Biegung	105
2.10.7	Stütze IPE 300 und Erfassung von drei Stabilitätsfällen	107
2.10.8	Zweifeldrige Giebelwandeckstütze	109
2.10.9	Einfeldträger IPE 450 mit Kragarm	114
2.10.10	Verschiebliche, ebene Rahmen	117
3	Stabtheorie und Querschnittswerte	130
3.1	Vorbemerkungen	130
3.2	Stabtheorie	130
3.2.1	Grundsätzliches	130
3.2.2	Lineare Stabtheorie (Theorie I. Ordnung)	136
3.3	Schwerpunkt, Hauptachsen und Hauptträgheitsmomente	139
3.3.1	Querschnittsnormierung Teil I	139
3.3.2	Aufteilung der Querschnitte in Teilflächen	147
3.3.3	Basisquerschnitte und elementare Querschnittsformen	149
3.4	Schubmittelpunkt und weitere Querschnittswerte	154
3.4.1	Querschnittsnormierung Teil II	154
3.4.2	Ermittlung des Schubmittelpunktes mit der Wölbordinate	160
3.4.3	Ermittlung des Schubmittelpunktes mit Schubspannungen	163
3.4.4	Berechnung von I_{ω} , I_T und $\max \tau$	168
3.5	Profiltabellen	172
4	Spannungsnachweise	188
4.1	Anwendungsbereiche	188
4.2	Nachweise	188
4.3	Spannungsermittlung	190
4.3.1	Vorbemerkungen	190
4.3.2	Schnittgrößen als Resultierende der Spannungen	190
4.3.3	Erläuterungen zum Wölbmoment	192
4.3.4	Berechnung von Spannungen	193

5	Plastische Querschnittstragfähigkeit	204
5.1	Einführung	204
5.2	Grundsätzliches	207
5.3	Plastische Grenzschnittgrößen	209
5.4	Querkräfte und Torsionsmomente	209
5.5	Lineare Interaktionsbeziehung	212
5.6	I-Querschnitte mit Standardbeanspruchungen	212
5.6.1	Vorbemerkungen	212
5.6.2	Schnittgrößenkombination $N-M_y$	213
5.6.3	Schnittgrößenkombinationen $N-M_z$	217
5.6.4	Schnittgrößenkombinationen $N-M_y-M_z$	220
5.7	I-Querschnitte mit beliebigen Schnittgrößen	224
5.7.1	Vorbemerkungen	224
5.7.2	Schnittgrößen V_y , V_z , M_{xp} und M_{xs}	224
5.7.3	Schnittgrößen N , M_y , M_z und M_ω	226
5.8	Kreisförmige Hohlprofile	230
5.9	Eckige Hohlprofile und Kastenquerschnitte	231
5.9.1	Schnittgrößenkombinationen $N-M_y$ und $N-M_z$	231
5.9.2	Schnittgrößenkombinationen $N-M_y-M_z$	232
5.10	Beliebige Querschnitte	233
6	Stabilitätsnachweise für Bauteile	234
6.1	Übersicht	234
6.2	Druckstäbe	236
6.3	Ideale Verzweigungslasten N_{cr}	243
6.3.1	Grundlagen	243
6.3.2	Eulerfälle I bis IV	245
6.3.3	Knickbiegelineien und Knicklängen	248
6.3.4	Hinweise zur Berechnung von N_{cr}	251
6.3.5	Ersatz von Tragwerksteilen durch Federn	256
6.3.6	Druckstäbe mit Federn an den Enden	259
6.4	Biegebeanspruchte Stäbe	262
6.4.1	Nachweise	262
6.4.2	Bemessungshilfen (Diagramme und Tabellen)	269
6.5	Ideale Biegedrillknickmomente $M_{cr,y}$	276
6.5.1	Stabilitätsproblem Biegedrillknicken	276
6.5.2	Berechnung von $M_{cr,y}$	278
6.5.3	Aufteilung in Teilsysteme	280
6.5.4	Träger mit Randmomenten	282
6.5.5	Kragträger	287
6.5.6	Träger mit einfachsymmetrischen I-Querschnitten	289
6.6	Biege- und druckbeanspruchte Bauteile	290
6.7	Allgemeines Nachweisverfahren für Bauteile	297

7	Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen	301
7.1	Grundsätzliches	301
7.2	Nachweisführung	303
7.3	Imperfektionen	303
7.3.1	Grundlagen	303
7.3.2	Ersatzimperfektionen für die Tragwerksberechnung	304
7.3.3	Bauteilimperfektionen	306
7.3.4	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme	307
7.4	Schnittgrößenermittlung zum Biegeknicken	308
7.4.1	Erläuterungen zum Verständnis	308
7.4.2	Berechnungsformeln	311
7.4.3	Vergrößerungsfaktoren	318
7.4.4	Weggrößenverfahren	331
7.5	Nachweise zum Biegedrillknicken	337
7.5.1	Allgemeines	337
7.5.2	Walzprofilträger	337
7.5.3	Träger mit einfachsymmetrischem I-Querschnitt	340
8	Bemessung und Konstruktion von Verbindungen	343
8.1	Übersicht	343
8.2	Grundsätzliches	343
8.3	Verbindungen mit scherbeanspruchten Schrauben	350
8.3.1	Nachweise und Bemessungshilfen	350
8.3.2	Ermittlung der Schraubenkräfte	352
8.3.3	Flachblechstoß zur Übertragung von N	356
8.3.4	Walzprofilstoß zur Übertragung von N	357
8.3.5	Trägerstoß für M, V und N	359
8.3.6	Gelenkiger Trägeranschluss mit Winkeln	362
8.4	Verbindungen mit zugbeanspruchten Schrauben	365
8.4.1	Übersicht	365
8.4.2	Kraftübertragung bei Trägerstößen	365
8.4.3	Vereinfachte Berechnungsmodelle für Trägerstöße	367
8.4.4	Äquivalenter T-Stummel nach DIN EN 1993-1-8	370
8.4.5	Trägerstoß mit überstehender Stirnplatte	377
8.4.6	Trägerstoß mit bündiger Stirnplatte	379
8.4.7	Geschraubte Rahmenecke mit Stirnplatte	380
8.5	Verbindungen mit Schweißnähten	381
8.5.1	Übersicht	381
8.5.2	Bemessungshilfen für Kehlnähte	381
8.5.3	Rechnerische Schweißnahtspannungen	382
8.5.4	Halsnähte eines I-Querschnitts	385
8.5.5	Halsnähte eines Kastenquerschnitts	386
8.5.6	Trägerstoß mit Stirnplatte	387

9	Verbindungen mit Schrauben	388
9.1	Einleitung	388
9.2	Orientierungshilfen	388
9.3	Darstellung auf Zeichnungen	390
9.4	Kategorien nach DIN EN 1993-1-8	391
9.5	Löcher für Schrauben – Lochdurchmesser	393
9.6	Kraftübertragung und Tragverhalten	394
9.6.1	Vorbemerkungen	394
9.6.2	Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindungen	394
9.6.3	Kategorien B und C: Kraftübertragung durch Reibung	399
9.6.4	Kategorien D und E: Zugbeanspruchung der Schrauben	399
9.6.5	Kombinierte Zug- und Abscherbeanspruchung	401
9.7	Bemessung nach DIN EN 1993-1-8	403
9.7.1	Vorbemerkungen	403
9.7.2	Werkstoffkennwerte	404
9.7.3	Rand- und Lochabstände	405
9.7.4	Beanspruchbarkeit von Schrauben	407
9.7.5	Hochfeste Schrauben in gleitfesten Verbindungen	411
9.7.6	Lange Schraubenverbindungen	412
9.7.7	Einschnittige Überlappungsstöße mit einer Schraube	412
9.7.8	Einschenkligter Anschluss von Winkelprofilen	413
9.7.9	Querschnittsschwächung durch Schraubenlöcher	414
9.7.10	Anziehen und Vorspannen von geschraubten Verbindungen	416
9.8	Schrauben, Muttern und Scheiben	420
10	Verbindungen mit Schweißnähten	425
10.1	Einleitung	425
10.2	Nahtarten und Darstellung	425
10.3	Spannungen in Schweißnähten	427
10.4	Kehlnähte	429
10.5	Andere Nahtarten	437
11	Statische Berechnungen für Stahlbauten	441
11.1	Allgemeines	441
11.2	Statische Berechnungen	442
11.3	Zeichnungen	443
11.4	Werkstattgebäude mit Pultdach	445
11.4.1	Baubeschreibung	445
11.4.2	Einwirkungen	446
11.4.3	Schnittgrößenermittlung und Nachweisführung	449
11.4.4	Stahltrapezprofil (Pos. 1) auf Pfetten	450
11.4.5	Dachpfetten HEA 120, S 235 (Pos. 2)	451
11.4.6	Bauteile in den Achsen 2 und 3	453

11.4.7	Dachträger HEA 220, S 235 (Pos. 3)	455
11.4.8	Stützen HEA 140, S 235, in der Rückwand (Pos. 5)	456
11.4.9	Eingespannte Stützen HEB 220, S 235 (Pos. 8)	458
11.4.10	Bauteile in den Achsen 1 und 4	460
11.4.11	Ortgangträger HEA 180, S 235 (Pos. 4)	461
11.4.12	Stützen HEA 140, S 235, an den Enden der Rückwand (Pos. 7)	462
11.4.13	Eingespannte Stützen HEB 220 im Giebelwandbereich (Pos. 8)	462
11.4.14	Pendelstützen HEA 140, S 235, in den Seitenwänden (Pos. 6)	462
11.4.15	Wandverband mit Diagonalen $\varnothing$ 12 mm, S 235 (Pos. 9)	463
11.4.16	Anschluss der Pfetten (Pos. 2) an die Dachträger (Pos. 3)	464
11.4.17	Anschluss der Dachträger an die Einspannstützen (Pos. 8)	465
11.4.18	Anschluss der Dachträger an die Rückwandstützen (Pos. 5)	467
11.4.19	Anschluss des Wandverbandes (Pos. 9) an die Stützen	467
11.4.20	Fußpunkt der Pendelstützen (Pos. 5)	468
11.4.21	Fußpunkt der Einspannstützen (Pos. 8)	470
11.5	Lagerhalle mit Zweigelenkrahmen	472
11.5.1	Konstruktionsbeschreibung	472
11.5.2	Einwirkungen nach DIN EN 1991	473
11.5.3	Zweigelenkrahmen in der Rahmenebene	474
11.5.4	Stabilität der Rahmenstiele	477
11.5.5	Stabilität der Rahmenriegel	479
11.5.6	Dachverbände	486
11.5.7	Wandverbände	490
11.5.8	Ortgangträger HEA 120	490
11.5.9	Giebelwandstützen HEA 180	491
11.5.10	Firststoß der Zweigelenkrahmen	492
11.5.11	Rahmenecken der Zweigelenkrahmen	493
11.5.12	Fußpunkte der Zweigelenkrahmen	499
Literaturverzeichnis		501
Sachverzeichnis		504

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 Gebrauchstauglichkeit sind jedoch die maßgebenden Normen zu beachten. Die Grundlage dafür sind hier 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/Krahwinkel: Stahl- und Verbundkonstruktionen, [15]
Das Buch enthält zahlreiche Konstruktionsdetails mit vielen Varianten für den Hallen-, Geschoss- und Brückenbau und einige Berechnungsbeispiele, beispielsweise zu Stahl- und Verbundbrücken.
- Kindmann/Stracke: Verbindungen im Stahl- und Verbundbau, [19]
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.
- Kindmann: Stahlbau Teil II: Stabilität und Theorie II. Ordnung, [23]
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/Kraus: Finite-Elemente-Methoden im Stahlbau, [17]
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.

- Kindmann/Kraus/Niebuhr: Stahlbau Kompakt, [16]

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, Biegeknicken, 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 Zweigelenrahmen 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 Zweigelenkrahmen einer Lagerhalle



Bild 1.7 Dachpfetten, Schrägstreben und Rahmenriegel



Bild 1.8 Rahmenecke



Bild 1.9 Rahmenkonstruktion und Dachpfetten

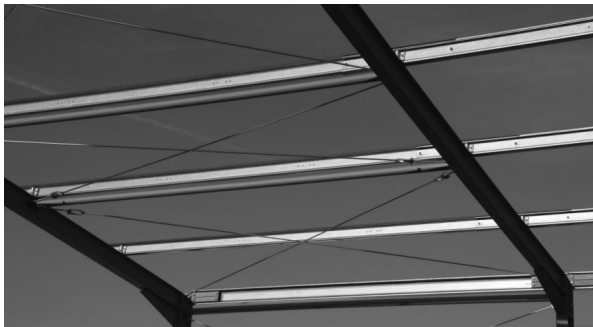


Bild 1.10 Dachverband und Pfetten



Bild 1.11 Geschraubte Rahmenecke



Bild 1.12 Mittelstütze mit Rahmenecken

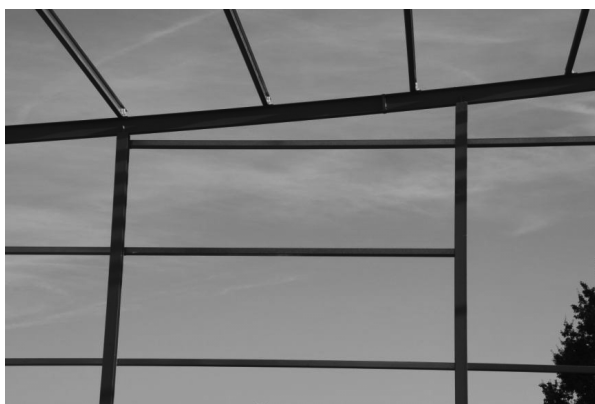


Bild 1.13 Giebelwandkonstruktion



Bild 1.14 Fachwerkbinder



Bild 1.15 Auflagerdetail eines Fachwerkbinders



Bild 1.16 Detail Fachwerkbinder mit Stahltrapezblechen

1.2 Erläuterungen zum Inhalt

Die folgende Übersicht zum Inhalt der Kapitel soll zur Orientierung dienen und den Gebrauch des Buches erleichtern. Im Hinblick auf die Durchführung von Stand-sicherheitsnachweisen ist es sinnvoll, zunächst die Kapitel 2, 8 und 11 zu lesen bzw. zu sichten.

Kapitel 1 – Allgemeines

Nach der Einleitung und Erläuterungen zum Inhalt sind in den Abschnitten 1.3 bis 1.5 Vorschriften, Bezeichnungen und Hinweise zu den RUBSTAHL-Programmen 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: Normierte Querschnitte und Querschnittswerte, Spannungsermittlung und Nachweise, plastische Querschnittstragfähigkeit, Stabilität und Theorie II. Ordnung.

Kapitel 3 – Stabtheorie und Querschnittswerte

Im ersten Teil des Kapitels wird die Berechnung von Schnittgrößen und Verformungen mithilfe der Stabtheorie erläutert. Danach folgen Ausführungen zur Ermittlung von Querschnittswerten und zur Normierung von Querschnitten (Schwerpunkt, Schubmittelpunkt usw.).

Kapitel 4 – Spannungsnachweise

In Kapitel 4 wird erläutert, wie die Spannungen zu ermitteln und die Nachweise zu führen sind.

Kapitel 5 – Plastische Querschnittstragfähigkeit

In diesem Kapitel werden Nachweise zur plastischen Querschnittstragfähigkeit erläutert. Für ausgewählte Anwendungsfälle, d. h. Querschnitte und Schnittgrößenkombinationen, werden plastische Grenzschnittgrößen und Interaktionsbeziehungen angegeben.

Kapitel 6 – Stabilitätsnachweise für Bauteile

Für die Stabilitätsfälle Biegeknicken und Biegedrillknicken wird gezeigt, wie die Nachweise mit Abminderungsfaktoren zu führen sind. Da man dafür die Verzweigungslasten N_{cr} und M_{cr} benötigt, wird ihre Ermittlung ausführlich erläutert.

Kapitel 7 – Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen

Für die Stabilitätsfälle Biegeknicken und Biegedrillknicken wird gezeigt, wie die Nachweise mit dem Ersatzimperfektionsverfahren zu führen sind. Der Ansatz der Imperfektionen und die Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung werden erläutert.

Kapitel 8 – Bemessung und Konstruktion von Verbindungen

Dies ist das zentrale Kapitel des Buches für die Bemessung von **Verbindungen**, da es zahlreiche Berechnungsbeispiele und die unmittelbar dazu erforderlichen Grundlagen enthält. Bezüglich der Systematik ist Kapitel 8 mit Kapitel 2 vergleichbar, in dem die Bemessung und Konstruktion von **Bauteilen** behandelt wird.

Kapitel 9 – Verbindungen mit Schrauben**Kapitel 10 – Verbindungen mit Schweißnähten**

Diese Kapitel enthalten Erläuterungen zum Tragverhalten von geschraubten und geschweißten Verbindungen und wesentliche Regelungen der DIN EN 1993-1-8 zur Bemessung.

Kapitel 11 – Statische Berechnungen für Stahlbauten

Hier werden statische Berechnungen für ein Werkstattgebäude mit Pultdach und eine Lagerhalle mit Zweigelenkrahmen (Satteldach) behandelt. Es werden Tragfähigkeitsnachweise für Bauteile und Verbindungen im Gesamtzusammenhang geführt und erläutert.

1.3 Technische Baubestimmungen

Wichtige Grundlage für das Bauen in Deutschland sind die **Bauordnungen** der Bundesländer. Darüber hinaus wird von den zuständigen Länderministerien veröffentlicht, welche **technischen Baubestimmungen** zurzeit anzuwenden sind. Ab dem 1. Juli 2012 sind das u. a. die folgenden *Eurocodes*:

- Eurocode 0 (DIN EN 1990): Grundlagen der Tragwerksplanung
- Eurocode 1 (DIN EN 1991): Einwirkungen auf Tragwerke
- Eurocode 2 (DIN EN 1992): Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- Eurocode 3 (DIN EN 1993): Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
- Eurocode 4 (DIN EN 1994): Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

Der Zusatz „DIN“ kennzeichnet, dass es sich um die deutschen Ausgaben der europäischen Normen handelt. Ergänzend dazu sind in Deutschland die nationalen Anhänge (NAs) zu beachten.

Der **Eurocode 3**, d. h. die EN 1993, ist in folgende Teile unterteilt:

- EN 1993-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- EN 1993-2: Stahlbrücken
- EN 1993-3: Türme, Maste und Schornsteine
- EN 1993-4: Tank- und Silobauwerke und Rohrleitungen
- EN 1993-5: Spundwände und Pfähle aus Stahl
- EN 1993-6: Kranbahnträger

Die Teile EN 1993-2 bis EN 1993-6 nehmen auf die Grundregeln von EN 1993-1 Bezug und sind darüber hinaus Ergänzungen dazu. Die **EN 1993-1** ist wie folgt gegliedert:

- EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- EN 1993-1-2: Baulicher Brandschutz
- EN 1993-1-3: Kaltgeformte Bauteile und Bleche
- EN 1993-1-4: Nichtrostender Stahl
- EN 1993-1-5: Bauteile aus ebenen Blechen mit Beanspruchungen in der Blechebene
- EN 1993-1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalentragwerken
- EN 1993-1-7: Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelastung
- EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Anschlüssen und Verbindungen
- EN 1993-1-9: Ermüdung
- EN 1993-1-10: Auswahl der Stahlsorten im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung
- EN 1993-1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit stählernen Zugelementen
- EN 1993-1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S 700

Bei der DIN EN 1993-1-1 handelt es sich um die deutsche Fassung der EN 1993-1-1:
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

Im Teil 1-1 sind **Grundregeln für Stabtragwerke** und zusätzliche Anwendungsregeln für den Hochbau enthalten. Die Grundregeln finden auch gemeinsam mit den weiteren Teilen EN 1993-2 bis EN 1993-6 Anwendung. Die EN 1993-1-1 enthält folgende Abschnitte:

- Abschnitt 1: Allgemeines
- Abschnitt 2: Grundlagen für die Tragwerksplanung
- Abschnitt 3: Werkstoffe
- Abschnitt 4: Dauerhaftigkeit
- Abschnitt 5: Tragwerksberechnung
- Abschnitt 6: Grenzzustände der Tragfähigkeit
- Abschnitt 7: Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Für die **Ausführung** von Stahlbauten ist DIN EN 1090-2 zu beachten. Durch Einhaltung der Ausführungsregelungen in DIN EN 1090-2 wird sichergestellt, dass die getroffenen Annahmen bei der Bemessung nach DIN EN 1993 eingehalten werden. Im Übrigen wird auf die bautechnischen Bestimmungen der Bundesländer verwiesen.

1.4 Bezeichnungen und Annahmen

Die folgende Zusammenstellung enthält die im vorliegenden Buch verwendeten Bezeichnungen. DIN EN 1993-1-1 und DIN EN 1993-1-8 enthalten zahlreiche weitere Bezeichnungen bzw. Formelzeichen mit entsprechenden Erläuterungen sowie Hinweise zur Bedeutung der verwendeten Begriffe.

Koordinaten, Ordinaten und Bezugspunkte (s. auch Bilder 3.1 bis 3.3)

x	Stablängsrichtung
y, z	Hauptachsen in der Querschnittsebene
ω	normierte Wölbordinate
s	Profilordinate
S	Schwerpunkt
M	Schubmittelpunkt

Verschiebungsgrößen (s. auch Bild 3.1)

u	Verschiebung in x -Richtung
v	Verschiebung in y -Richtung
w	Verschiebung in z -Richtung
v'	Verdrehung um die z -Achse
w'	Verdrehung um die y -Achse
ϑ	Verdrehung um die x -Achse
ϑ'	Verdrillung

Einwirkungen, Lastgrößen (s. auch Bilder 2.8, 2.9 und 3.8 sowie Tabelle 3.1)

q_x, q_y, q_z	Streckenlasten
F_x, F_y, F_z	Einzellasten
m_x	Streckentorsionsmoment
M_{xL}	Lasttorsionsmoment
M_{yL}, M_{zL}	Lastbiegemomente
$M_{\omega L}$	Lastwölbmoment

Schnittgrößen (s. auch Bilder 2.8 und 3.6 sowie Tabelle 4.1)

N	Längskraft, Normalkraft	
V_y, V_z	Querkräfte	
M_y, M_z	Biegemomente	DIN EN 1993-1-1:
M_x	Torsionsmoment	T
M_{xp}, M_{xs}	primäres und sekundäres Torsionsmoment	T_t, T_w
M_{ω}	Wölbmoment	B
Index el:	Grenzschnittgrößen nach der Elastizitätstheorie	

Index pl:	Grenzschnittgrößen nach der Plastizitätstheorie
Index Rd:	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit
Index Ed:	Bemessungswert der Beanspruchung

Spannungen (s. auch Bilder 4.1 bis 4.3)

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	Normalspannungen
$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$	Schubspannungen
σ_v	Vergleichsspannung

Querschnittskennwerte (s. auch Tabelle 3.1)

A	Fläche
I_y, I_z	Hauptträgheitsmomente
I_ω	Wölbwiderstand
I_T	Torsionsträgheitsmoment
W_y, W_z	Widerstandsmomente
S_y, S_z	statische Momente
i_M, r_y, r_z, r_ω	Größen für Theorie II. Ordnung und Stabilität, s. Tabelle 2.21

$$i_p = \sqrt{\frac{I_y + I_z}{A}} \quad \text{polarer Trägheitsradius}$$

Biegeknicken und Biegedrillknicken (s. auch Tabelle 2.18)

N_{cr}	ideale Drucknormalkraft (Elastizitätstheorie, Eigenwert)
L_{cr}	Knicklänge für Biegeknicken
ε	Stabkennzahl für Biegeknicken
α_{cr}	Verzweigungslastfaktor des Systems (Eigenwert)
$M_{cr,y}$	ideales Biegedrillknickmoment (Elastizitätstheorie, Eigenwert)
$\bar{\lambda}, \bar{\lambda}_M$	bezogene Schlankheitsgrade
χ, χ_{LT}	Abminderungsfaktoren (LT: lateral torsional buckling)

Werkstoffkennwerte (s. auch Bild 2.3 und Tabelle 2.1)

E	Elastizitätsmodul
G	Schubmodul
ν	Querkontraktion, <i>Poisson'sche</i> Zahl
f_y	Streckgrenze
f_u	Zugfestigkeit
ε_u	Bruchdehnung

Teilsicherheitsbeiwerte (s. auch Tabelle 2.9)

γ_M	Beiwert für die Widerstandsgrößen (m aterial)
γ_F	Beiwert für die Einwirkungen (f orce)

Geschraubte Verbindungen (s. auch Tabelle 9.2 sowie 9.6 bis 9.10)

d_0	Lochdurchmesser
d	Schaftdurchmesser
Δd	Nennlochspiel
$f_{u,b}$	Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs
$f_{y,b}$	Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs
$F_{v,Ed}$	Abscherkraft einer Schraube je Scherfuge
$F_{v,Rd}$	Grenzabscherkraft einer Schraube je Scherfuge
α_v	Beiwert zur Ermittlung von $F_{v,Rd}$
$\tau_{a,Rd}$	Grenzschubspannung
$F_{b,Ed}$	Lochleibungskraft
$F_{b,Rd}$	Grenzlochleibungskraft
k_1, α_b	Beiwerte zur Ermittlung von $F_{b,Rd}$
$\sigma_{l,Rd}$	Grenzlochleibungsspannung
$F_{t,Ed}$	Zugkraft in einer Schraube
$F_{t,Rd}$	Grenzzugkraft einer Schraube
A	Schaftquerschnitt
A_s	Spannungsquerschnitt
Q	Abstützkraft
p_1, p_2	Lochabstände
e_1, e_2	Randabstände
$F_{v,Ed,ser}$	Scherkraft im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$F_{s,Rd,ser}$	Gleitwiderstand Gebrauchstauglichkeit
μ	Reibungszahl
$F_{p,C}$	Vorspannkraft
Index b:	Schrauben, Niete, Bolzen (bolt)

Geschweißte Verbindungen (s. auch Bilder 10.5 und 10.8)

$\sigma_{ }$	Normalspannung in Richtung der Schweißnaht
$\tau_{ }$	Schubspannung in Richtung der Schweißnaht
$\sigma_{\perp}$	Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtlänge
$\tau_{\perp}$	Schubspannung senkrecht zur Schweißnahtlänge
$f_{vw,d}$	Bemessungswert der Scherfestigkeit der Schweißnaht
β_w	Korrelationsbeiwert für Kehlnähte
a	rechnerische Schweißnahtdicke
A_w	rechnerische Schweißnahtfläche
Index w:	Schweißen (welding)

Annahmen und Voraussetzungen

- Es wird linearelastisches-idealplastisches Werkstoffverhalten gemäß Bild 2.3 vorausgesetzt.
- Verformungen sind so klein, dass geometrische Beziehungen linearisiert werden können, s. Tabelle 2.17.
- Die Querschnittsform eines Stabes bleibt bei Belastung und Verformung erhalten, s. auch Bilder 2.4 und 3.5.
- Für zweiachsige Biegung mit Normalkraft wird die Bernoulli-Hypothese vom Ebenbleiben der Querschnitte vorausgesetzt und der Einfluss von Schubspannungen infolge von Querkraften auf die Verformungen vernachlässigt (schubstarre Stäbe).
- Bei der Wölbkrafttorsion wird die Wagner-Hypothese vorausgesetzt und der Einfluss von Schubspannungen infolge des sekundären Torsionsmomentes auf die Verdrehung vernachlässigt.

1.5 RUBSTAHL-Programme

Statische Berechnungen werden i. d. R. in wesentlichen Teilen mithilfe von *EDV-Programmen* erstellt. Dabei werden leistungsfähige Programme verschiedener Softwarefirmen zwecks Erleichterung und Abkürzung der Berechnungen eingesetzt. Aus didaktischen Gründen werden vom Lehrstuhl für Stahl-, Holz- und Leichtbau der Ruhr-Universität Bochum seit mehr als zehn Jahren

RUBSTAHL – Lehr- und Lernprogramme für Studium und Weiterbildung

zur Verfügung gestellt. Diese Programme werden bei den Berechnungsbeispielen, d. h. vornehmlich in den Kapiteln 2, 8 und 11 verwendet. Detaillierte Informationen finden sich auf der Homepage des Lehrstuhls: www.rub.de/stahlbau.

Für die folgenden Anwendungsbereiche stehen Programme zur Verfügung:

- Ermittlung von Schnittgrößen (Stäbe, Rahmen, Fachwerke)
- Berechnung von Verzweigungslasten und Eigenformen (Knickbiegelinien) für Biegeknicken, Biegedrillknicken und Plattenbeulen
- Berechnung von Querschnittswerten und Spannungsermittlung
- Plastische Querschnittstragfähigkeit
- Tragfähigkeitsnachweise für geschraubte und geschweißte Verbindungen

Bei vielen Aufgabenstellungen erleichtert das Programm FE-STAB die Durchführung der Berechnungen und Nachweise erheblich.

2 Bemessung und Konstruktion von Bauteilen

2.1 Vorbemerkungen

Kapitel 2 ist das zentrale Kapitel des Buches für die Bemessung und Konstruktion von Bauteilen und Tragwerken. Der erste Teil des Kapitels enthält dazu in den Abschnitten 2.2 bis 2.6 folgende **Grundlagen**:

- Werkstoff Stahl
- Stahlerzeugnisse
- Teilsicherheitsbeiwerte
- Querschnittsklassen
- Nachweise

Im zweiten Teil des Kapitels werden in den Abschnitten 2.7 bis 2.10 **Berechnungsbeispiele** zu den folgenden Themen behandelt:

- Normierte Querschnitte und Querschnittswerte
- Spannungsermittlung und Nachweise
- Plastische Querschnittstragfähigkeit
- Stabilität und Theorie II. Ordnung

Bei den Beispielen werden die Kapitel 3 bis 7 verwendet:

- Stabtheorie und Querschnittswerte
- Spannungsnachweise
- Plastische Querschnittstragfähigkeit
- Stabilitätsnachweise für Bauteile
- Theorie II. Ordnung mit Imperfektionen

Weitere Berechnungsbeispiele finden sich in Kapitel 11 „Statische Berechnungen für Stahlbauten“. Dort werden ein Werkstattgebäude mit Pultdach und eine Lagerhalle mit Zweigelenkrahmen (Satteldach) behandelt.

2.2 Werkstoff Stahl

Als Bemessungswerte der *Materialkonstanten* sind in der Regel für die Berechnung folgende Werte anzunehmen:

- | | |
|-------------------------------|---|
| • Elastizitätsmodul | $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$ |
| • Schubmodul | $G = E/(2 \cdot (1 + \nu)) \approx 8100 \text{ kN/cm}^2$ |
| • Poisson'sche Zahl | $\nu = 0,3$ (Querdehnzahl) |
| • Wärmeausdehnungskoeffizient | $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ je K}$ (für $T \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$) |
| • Dichte | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ |

Die Nennwerte der *Streckgrenze* f_y und der *Zugfestigkeit* f_u für *Baustahl* nach DIN EN 1993-1-1 sind in Tabelle 2.1 zusammengestellt. Diese Nennwerte dürfen als charakteristische Werte für statische Berechnungen angenommen werden.

Die Streckgrenzen gemäß DIN EN 1993-1-1 unterscheiden sich von den in DIN 18800-1 angegebenen Werten nur geringfügig. Bei Blechdicken bis zu 40 mm darf nach DIN 18800-1 für S 235 $f_y = 240 \text{ N/mm}^2$ bzw. für S 355 $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$ angesetzt werden. Auswirkungen auf die rechnerische Tragfähigkeit können aber nur mit Beachtung der Teilsicherheitsbeiwerte beurteilt werden, s. auch Abschnitt 2.4.

Nach DIN EN 10020 erfolgt die Einteilung der Stähle

- nach ihrer chemischen Zusammensetzung in unlegierte und legierte Stähle sowie
- nach Hauptgüteklassen aufgrund ihrer Haupteigenschaften- und Anwendungsmerkmale.

Tabelle 2.1 Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzten Baustahl nach DIN EN 1993-1-1 (Auszug)

Werkstoffnorm	Stahlsorte	Erzeugnisdicke t in mm			
		$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$	
		$f_y \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_u \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_y \text{ [N/mm}^2\text{]}$	$f_u \text{ [N/mm}^2\text{]}$
EN 10025-2 unlegierte Baustähle	S 235	235	360	215	360
	S 275	275	430	255	410
	S 355	355	490	335	470
	S 450	440	550	410	550
EN 10025-3 normal gegläuhte / normalisierend gewalzte Feinkornbaustähle	S 275 N/NL	275	390	255	370
	S 355 N/NL	355	490	335	470
	S 420 N/NL	420	520	390	520
	S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4 thermomechanisch gewalzte Feinkornbaustähle	S 275 M/ML	275	370	255	360
	S 355 M/ML	355	470	335	450
	S 420 M/ML	420	520	390	500
	S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10210-1 warmgefertigte Hohlprofile	S 235 H	235	360	215	340
	S 275 H	275	430	255	410
	S 355 H	355	510	335	490
EN 10219-1 kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile	S 235 H	235	360		
	S 275 H	275	430		
	S 355 H	355	510		

Die allgemeinen Baustähle S 235 und S 355, die mehr als 95 % der im Stahlbau verwendeten Mengen ausmachen, gelten als unlegierte Stähle. Dies bedeutet nicht, dass keine Legierungselemente enthalten sind. Für die Legierungselemente (Silizium, Chrom, Mangan, Molybdän u. a.) sind in DIN EN 10020 festgelegte Grenzmassen-