

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 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 Zweigelenkrahmen einer Lagerhalle



Bild 1.7 Dachpfetten, Schrägstreben und Rahmenriegel



Bild 1.8 Rahmenecke



Bild 1.9 Rahmenkonstruktion und Dachpfetten

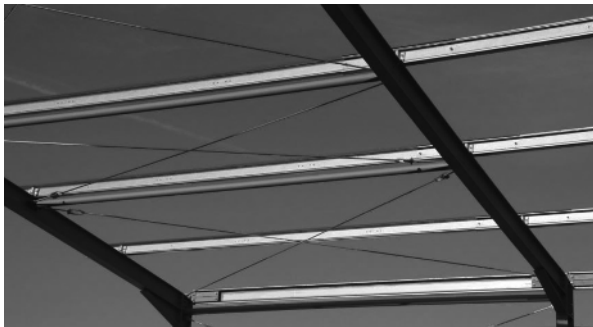


Bild 1.10 Dachverband und Pfetten



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 Standortsicherheitsnachweisen 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 Schalentragsystemen
- EN 1993-1-7: Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelaastung
- 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
σ_{\perp}	Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtlänge
τ_{\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.