

DIN EN 1993-1-1



ICS 91.010.30; 91.080.13

EntwurfEinsprüche bis 2020-09-17
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-1:2010-12**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-1:2020**

Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 1-1: General rules and rules for buildings;
German and English version prEN 1993-1-1:2020

Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-1:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 234 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist [JJJJ-MM-TT] *.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-1:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (SpA zu CEN/TC 250/SC 3, ISO/TC 167/SC 1)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-1:2010-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet.

* Wird bei Herausgabe der Norm festgelegt.

<i>Titel de:</i>	Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
<i>Titel en:</i>	Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	10
1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-1-1	10
1.2 Annahmen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe und Symbole	10
3.1 Begriffe	10
3.2 Symbole und Abkürzungen	12
3.2.1 Lateinische Großbuchstaben	12
3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben	16
3.2.3 Griechische Großbuchstaben	18
3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben	19
3.3 Definition der Bauteilachsen	21
4 Grundlagen für die Tragwerksplanung	23
4.1 Allgemeine Regeln	23
4.1.1 Grundlegende Anforderungen	23
4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit	23
4.1.3 Robustheit	23
4.1.4 Nutzungsdauer bei Hochbauten	23
4.1.5 Dauerhaftigkeit	23
4.2 Prinzipien der Bemessung nach Grenzzuständen	24
4.3 Basisvariablen	24
4.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	24
4.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften sowie geometrische Größen	24
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	24
4.4.1 Bemessungswerte von Einwirkungen	24
4.4.2 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	25
4.4.3 Bemessungswerte der geometrischen Größen	25
4.4.4 Toleranzen	25
4.4.5 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	26
4.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen	26
5 Material	26
5.1 Allgemeines	26
5.2 Baustahl	27
5.2.1 Werkstoffeigenschaften	27
5.2.2 Anforderungen an die Duktilität	28
5.2.3 Bruchzähigkeit	29
5.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	29
5.2.5 Werte von anderen Werkstoffeigenschaften	30
5.3 Verbindungsmittel	30
5.3.1 Schrauben, Bolzen, Nieten	30
5.3.2 Schweißwerkstoffe	30
5.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	30
6 Dauerhaftigkeit	30

7	Tragwerksberechnung.....	31
7.1	Statische Systeme	31
7.1.1	Grundannahmen.....	31
7.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse.....	31
7.2	Untersuchung von Gesamttragwerken.....	31
7.2.1	Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung	31
7.2.2	Art der Tragwerksberechnung in Abhängigkeit von der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	34
7.3	Imperfektionen	38
7.3.1	Grundlagen	38
7.3.2	Schiefstellungen für die Tragwerksberechnung.....	39
7.3.3	Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilberechnung.....	40
7.3.4	Überlagerung von Anfangsschiefstellung und Stabvorkrümmung für die globale Tragwerksberechnung.....	42
7.3.5	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme.....	43
7.3.6	Imperfektionen auf der Grundlage von Knickbiegelineien nach der Elastizitätstheorie.....	45
7.4	Berechnungsverfahren.....	46
7.4.1	Allgemeines	46
7.4.2	Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie.....	47
7.4.3	Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie	47
7.5	Klassifizierung von Querschnitten.....	48
7.5.1	Grundlagen	48
7.5.2	Klassifizierung.....	49
7.6	Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung.....	50
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	54
8.1	Teilsicherheitsbeiwerte.....	54
8.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten.....	54
8.2.1	Allgemeines	54
8.2.2	Querschnittswerte	56
8.2.3	Zugbeanspruchung	59
8.2.4	Druckbeanspruchung	60
8.2.5	Biegebeanspruchung	61
8.2.6	Querkraftbeanspruchung.....	62
8.2.7	Torsion	64
8.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft	66
8.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft	67
8.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft	70
8.2.11	Beanspruchbarkeit bei Querbelastung.....	71
8.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile.....	73
8.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck.....	73
8.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	78
8.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	83
8.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	88
8.3.5	Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken in Hochbauten.....	89
8.4	Mehrteilige Bauteile.....	91
8.4.1	Annahmen und konstruktive Durchbildung	91
8.4.2	Bemessungskräfte für Bauteile.....	94
8.4.3	Tragfähigkeit von Elementen von Gitterstützen.....	94
8.4.4	Tragfähigkeit von Komponenten von Stützen mit Bindeblechen.....	95
8.4.5	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung.....	97
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	98
9.1	Allgemeines	98
9.2	Verformungen und dynamische Einflüsse bei Hochbauten.....	98

10	Ermüdung	99
Anhang A (normativ) Auswahl der Ausführungsklasse		100
A.1	Zweck dieses Anhangs	100
A.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	100
A.3	Ausführungsklasse	100
A.4	Auswahlprozess	100
A.5	Ausführungsklasse und Teilsicherheitsbeiwerte	101
Anhang B (normativ) Bemessung semi-kompakter Querschnitte		102
B.1	Anwendungsbereich	102
B.2	Elastisch-plastisches Widerstandsmoment	102
B.3	Querschnittstragfähigkeit	103
B.4	Stabilitätsnachweise für Bauteile	104
Anhang C (normativ) Zusätzliche Regelungen für gleichförmige Bauteile mit einfach-symmetrischen Querschnitten und für biege-, druck- und torsionsbeanspruchte Bauteile..		105
C.1	Zusätzliche Regelungen für gleichförmige Bauteile mit einfach-symmetrischen Querschnitten	105
C.2	Zusätzliche Regelungen für gleichförmige Bauteile unter Biegung, Druck und Torsion	106
Anhang D (normativ) Kontinuierliche seitliche Abstützung von Trägern des Hochbaus		108
D.1	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	108
D.2	Kontinuierliche seitliche Stützung	108
D.3	Kontinuierliche Drehbehinderung	108
Anhang E (informativ) Grundlagen für die Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten		110
E.1	Zweck dieses informativen Anhangs	110
E.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	110
E.3	Kalibrierung	110
Literaturhinweise		113

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-1:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-1-1:2005 und seine Änderungen und Berichtigungen ersetzen.

Die erste Generation von EN Eurocodes wurde zwischen 2002 und 2007 veröffentlicht. Dieses Dokument wurde als Teil der zweiten Generation der Eurocodes im Rahmen des Mandats M/515 erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Die Eurocodes wurden dafür erarbeitet, in Zusammenhang mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Die Eurocodes erkennen die Verantwortlichkeit aller Mitgliedstaaten an und wahren deren Recht, sicherheitsbezogene Werte auf nationaler Ebene in Nationalen Anhängen festzulegen.

Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

Die Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus umfassen die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

- EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- EN 1991 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- EN 1992 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- EN 1993 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
- EN 1994 Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton
- EN 1995 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
- EN 1996 Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten
- EN 1997 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
- EN 1998 Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben
- EN 1999 Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken
- Neue Teile sind derzeit in Erarbeitung, z. B. der Eurocode für die Bemessung von tragenden Konstruktionen aus Glas

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

EN 1993 (alle Teile) gilt für den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung von Bauwerken aus Stahl. Eurocode 3 entspricht den Grundsätzen und Anforderungen an die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Tragwerken sowie den Grundlagen für ihre Bemessung und Nachweise, die in EN 1990, Grundlagen der Tragwerksplanung, enthalten sind.

EN 1993 (alle Teile) behandelt ausschließlich Anforderungen an die Tragfähigkeit, die Gebrauchstauglichkeit, die Dauerhaftigkeit und den Feuerwiderstand von Tragwerken aus Stahl. Andere Anforderungen, wie z. B. Wärmeschutz oder Schallschutz, werden nicht berücksichtigt.

EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

- EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;
- EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*;
- EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;
- EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

- EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Pfähle und Spundwände*;
- EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;
- EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Paneelen*.

EN 1993-1 existiert nicht als ein physikalisches Dokument, sondern besteht aus den folgenden 14 gesonderten Teilen, deren grundlegender Teil EN 1993-1-1 ist:

EN 1993-1-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*;

EN 1993-1-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-2: Allgemeine Regeln — Tragwerksbemessung für den Brandfall*;

EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: Allgemeine Regeln — Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*;

ANMERKUNG Kaltgeformte Hohlquerschnitte nach EN 10219 werden in EN 1993-1-1 behandelt.

EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln — Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen*;

EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*;

EN 1993-1-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen*;

EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Plattenförmige Bauteile mit Querbelaastung*;

EN 1993-1-8, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*;

EN 1993-1-9, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-9: Ermüdung*;

EN 1993-1-10, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*;

EN 1993-1-11, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl*;

EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S960*;

EN 1993-1-13, *Design of Steel Structures — Part 1-13: Beams with large web openings*;

EN 1993-1-14, *Design of Steel Structures — Part 1-14: Design assisted by finite element analysis*.

Alle Teile von EN 1993-1-2 bis EN 1993-1-14 behandeln allgemeine Themen, die unabhängig von der Art des Bauwerks sind, wie die Tragwerksbemessung für den Brandfall, ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche, ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen, plattenförmige Bauteile usw.

Alle Teile von EN 1993-2 bis EN 1993-7 behandeln Themen, die für eine bestimmte Bauwerksart relevant sind, wie Stahlbrücken; Türme, Maste und Schornsteine; Silos und Flüssigkeitsbehälter; Pfähle und Spundwände; Kranbahnen usw. EN 1993-2 bis EN 1993-7 beziehen sich auf die allgemeinen Regeln in EN 1993-1 und ergänzen, ändern oder ersetzen diese.

0.3 Einleitung zu EN 1993-1-1

EN 1993-1-1 enthält allgemeine Bemessungsregeln für Stahlbauten. Sie enthält auch ergänzende Bemessungsregeln für Stahlhochbauten. Der Schwerpunkt von EN 1993-1-1 liegt auf Bemessungsverfahren und Bemessungsregeln für einzelne Bauteile (Träger, Stützen und Träger-Stützen) und Grundgerüste (Tragwerke) bezüglich Tragfähigkeit und Stabilität.

0.4 Verwendung modaler Hilfsverben in Eurocodes

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch verifiziert sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.5 Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo diese Möglichkeit ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festgelegte Parameter (NDP).

Die nationale Ausgabe von EN 1993-1-1 kann durch einen Nationalen Anhang ergänzt werden, der alle nationalen Festlegungen enthält, die für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Ingenieurbauten im jeweiligen Land erforderlich sind.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist der in dieser Norm angegebene Standardwert anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und kein Standardwert in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde festgelegt werden oder wenn keine Festlegung besteht, für ein spezifisches Einzelprojekt durch die zuständigen Parteien vereinbart werden.

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-1 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

- 4.4.3 (2)
- 5.1 (2)
- 5.2.1 (1)
- 5.2.2 (1)
- 5.2.3 (1)P
- 7.2.1 (4)
- 7.2.2 (9)
- 7.3.3.1 (2)

- 7.3.3.2 (1)
- 7.4.1(3)
- 8.1 (1)
- 8.3.2.3 (1)
- 8.3.2.4 (1)B
- 8.3.2.4 (3)B
- 8.3.3 (2)
- 8.3.4 (1)
- 9.2 (2)B
- A.3 (2)
- A.3 (3)
- A.3 (4)

Nationale Festlegungen sind in EN 1993-1-1 zu den folgenden informativen Anhängen gestattet:

- Anhang E (informativ) — Grundlagen für die Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, nicht widersprüchliche ergänzende Informationen zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von EN 1993-1-1

(1) EN 1993-1-1 enthält grundlegende Regeln für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von Stahlbauten.

(2) Zusätzlich werden Anwendungsregeln für den Hochbau angegeben. Diese Anwendungsregeln sind durch die Abschnittsnummerierung ()B gekennzeichnet (en: Building).

1.2 Annahmen

(1) Die Annahmen nach EN 1990 gelten für EN 1993-1-1.

(2) EN 1993 ist dazu vorgesehen zusammen mit EN 1990, EN 1991 (alle Teile), den Teilen von EN 1992 bis EN 1999, die Stahlbauten oder Stahlbauteile behandeln, sowie mit EN 1090-2, EN 1090-4, und EN, EAD und ETA für Bauprodukte für Stahlbauten angewendet zu werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze) und Erlaubnisse (d. h. durch „darf“-Sätze) in Bezug genommenen werden.

EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*

EN 1090-4, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken — Teil 4: Technische Anforderungen an tragende, kaltgeformte Bauelemente aus Stahl und tragende, kaltgeformte Bauteile für Dach-, Decken-, Boden- und Wandanwendungen*

EN 1990:—¹, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Tragwerk

Gesamtheit oder ein Teil der Tragstruktur, bestehend aus den verbundenen Bauteilen, die so konstruiert und dimensioniert sind, dass sie der Beanspruchung standhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff umfasst Stabtragwerke wie Rahmentragwerke oder Fachwerktragwerke; es gibt ebene und räumliche Tragwerke.

¹ In Vorbereitung. Aktueller Stand: prEN 1990:2020.

3.1.2

Teiltragwerke

Teil eines größeren Tragwerks, das jedoch als eigenständiges Tragwerk in der statischen Berechnung behandelt werden darf

3.1.3

Tragwerke mit verformbaren Anschlüssen

Tragwerke, bei denen die wesentlichen Eigenschaften der zu verbindenden Bauteile und ihrer Anschlüsse in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen

3.1.4

Tragwerke mit steifen Anschlüssen

Tragwerke, bei denen nur die Eigenschaften der Bauteile in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen

3.1.5

Gelenktragwerke

Tragwerke, in denen die Anschlüsse nicht in der Lage sind, Momente zu übertragen

3.1.6

Systemlänge

Abstand zweier benachbarter Punkte eines Bauteils in einer vorgegebenen Ebene, an denen das Bauteil gegen Verschiebungen in der Ebene gehalten ist, oder Abstand zwischen einem solchen Punkt und dem Ende des Bauteils

3.1.7

Knicklänge

Länge des an beiden Enden gelenkig gelagerten Druckstabes, der die gleiche ideale Verzweigungslast aufweist wie der Druckstab mit seinen realen Lagerungsbedingungen im System

3.1.8

Ersatzstab

an beiden Enden gelenkig gelagertes einfeldriges Bauteil von gleichmäßigem Querschnitt, das mit konstanter Normalkraft (Druck) für den Stabilitätsnachweis verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Seine Länge, Querschnitt und Normalkraft entsprechen der zutreffenden Knicklänge, Querschnitt und Normalkraft an der untersuchten Position im Tragwerk.

3.1.9

mittragende Breite

ungleichmäßige Spannungsverteilung in breiten Gurtscheiben infolge von Scheibenverformungen

3.1.10

Kapazitätsbemessung

Bemessung eines Bauteils und seiner Anschlüsse derart, dass bei eingepprägten Verformungen planmäßige plastische Fließverformungen im Bauteil durch gezielte Überfestigkeit der Verbindungen und Anschlussteile sichergestellt werden

3.1.11

mehrteiliges Bauteil mit konstantem Querschnitt

mehrteiliges Bauteil aus parallelen Gurten mit nominell konstantem Querschnitt entlang der Bauteilachse, das durch Gitterstäbe oder Bindebleche in regelmäßigem Abstand verbunden ist

3.1.12

Bauteil mit konstantem Querschnitt

Bauteil mit nominell konstantem Querschnitt entlang der Bauteilachse

3.2 Symbole und Abkürzungen

Folgende Formelzeichen werden im Sinne dieser Norm verwendet.

3.2.1 Lateinische Großbuchstaben

A	Querschnittsfläche
A_c	Fläche des druckbeanspruchten Flansches
A_{ch}	Querschnittsfläche eines Gurtstabes
A_d	Querschnittsfläche eines Gitterstabes einer Gitterstütze
A_{eff}	wirksame Querschnittsfläche
A_f	Fläche eines Flansches
A_i	Querschnittsfläche für die Berechnung des charakteristischen Werts der Normalkrafttragfähigkeit
A_{net}	Nettoquerschnittsfläche
A_p	Querschnittsfläche eines Bindeblechs (oder horizontalen Bauteils) einer Gitterstütze
A_t	Fläche des zugbeanspruchten Flansches
$A_{t,net}$	Nettofläche des zugbeanspruchten Flansches
A_v	wirksame Schubfläche
A_w	Fläche des Stegbleches
A_0	Anfangsquerschnittsfläche
B_{Ed}	Bemessungswert des Wölbbimoments
B_{Rd}	Bemessungswert der Wölbbimomententragfähigkeit
B_{Rk}	charakteristischer Wert der Wölbbimomententragfähigkeit
C_D	Rotationssteifigkeit, die durch das stabilisierende Bauteil und die Verbindung mit dem Träger bewirkt wird
$C_{D,A}$	Rotationssteifigkeit der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil
$C_{D,B}$	Rotationssteifigkeit infolge von Querschnittsverformungen des Trägers
$C_{D,C}$	Rotationssteifigkeit des stabilisierenden Bauteils bei Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger
C_{my}, C_{mz}, C_{mLT}	äquivalente Momentenbeiwerte
E	Elastizitätsmodul
$EI \eta''_{cr,m} $	absoluter Wert des Biegemoments aufgrund $\eta_{cr,m}$ am kritischen Querschnitt m
$F_{cr,ns}$	kleinste ideale Verzweigungslast des einzelnen Bauteils für eine Knickbiegeline, entweder in oder aus der Ebene, am seitlich unverschieblichen System.
$F_{cr,sw}$	ideale Verzweigungslast für das Gesamtstabilitätsversagen in der Ebene für eine Knickbiegeline am verschieblichen System
F_d	Bemessungswert der Last auf dem Tragwerk
$F_{z,Ed}$	Bemessungswert der Querbelastrung

$F_{z,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung
G	Schubmodul
G_k	charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung
H	Tragwerkshöhe
H_{Ed}	Bemessungswert der gesamten horizontalen Last
H_f	horizontale Ersatzlast
H_{st}	Stockwerkshöhe
I	Trägheitsmoment
I_b	Trägheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene
I_{ch}	Trägheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene
I_{eff}	effektives Trägheitsmoment eines mehrteiligen Bauteils
I_T	Torsionsflächenmoment des Trägers
I_w	Wölflächenmoment des Trägers
I_y, I_z	Trägheitsmoment um die y-y-Achse bzw. die z-z-Achse
$I_{z,fl}$	Trägheitsmoment um die z-z-Achse der beiden Flansche
I_1	äquivalentes Trägheitsmoment eines mehrteiligen Bauteils mit Bindeblechen
K_{st}	seitliche Steifigkeit eines Stockwerkes
K_v	Faktor zur Berücksichtigung der Nachweisart bei der Bewertung von Verdrehbehinderungen
K_θ	Faktor zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs bei der Bewertung von Verdrehbehinderungen
L	Länge (Bauteillänge, Spannweite usw.)
L_c	Abstand zwischen zwei aufeinander folgenden seitlichen Stützpunkten
L_{ch}	Knicklänge des Gurts in einem mehrteiligen Bauteil
L_{cr}	Knicklänge
L_d	Länge eines Gitterstabes in einem mehrteiligen Bauteil
L_{st}	Mindestabstand von Abstützmaßnahmen
L_y	wirksame Länge der Beanspruchbarkeit bei Querbelastrung
$M_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit eines biegebeanspruchten Bauteils
$M_{B,V,Rd}$	Bemessungswert der abgeminderten Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung von Querkraft und Wölbbimoment
$M_{c,B,Rd}$	Bemessungswert der abgeminderten Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung des Wölbbimoments
M_{cr}	ideales Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken
$M_{c,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Berücksichtigung von Löchern
M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments
M_{Ed}^I	Bemessungswert des maximal einwirkenden Moments erster Ordnung in der Mitte eines mehrteiligen Bauteils

$M_{el,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit nach Elastizitätstheorie
$M_{ep,Rd}$	Bemessungswert der elastisch-plastischen Momententragfähigkeit
M_h	negatives Moment an Bauteilenden
$M_{N,ep,Rd}$	Bemessungswert der elastisch-plastischen Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der Normalkraft
$M_{N,Rd}$	Bemessungswert der abgeminderten Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der Normalkraft
$M_{pl,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit nach Plastizitätstheorie
M_{Rk}	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit
$M_{Rk,m}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit des kritischen Querschnitts m
$M_{V,Rd}$	Bemessungswert der abgeminderten plastischen Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung der Querkraft
$M_{y,Ed}$	Bemessungswert des Biegemoments (y-y-Achse)
$M_{y,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y-y-Achse
$M_{y,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit um die y-y-Achse
$M_{z,Ed}$	Bemessungswert des Biegemoments (z-z-Achse)
$M_{z,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z-z-Achse
$M_{z,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit (z-z-Achse)
M_0	Feldmoment in der Bauteilmitte
N	Anzahl der Spannungszyklen während der Bemessungsnutzungsdauer
$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit eines druckbeanspruchten Bauteils
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit bei Druck
$N_{ch,Ed}$	Bemessungswert einer Normalkraft in einem Gurt, in der Mitte eines mehrteiligen Bauteils
N_{cr}	ideale Verzweigungslast der Normalkraft für den maßgebenden Knickfall gerechnet mit den Abmessungen des Bruttoquerschnitts
$N_{cr,c,z}$	ideale Verzweigungslast unter Normalkraft für das Biegeknicken des druckbeanspruchten Flansches
$N_{cr,m}$	ideale Verzweigungslast der Normalkraft im Querschnitt m
$N_{cr,T}$	ideale Verzweigungslast unter Normalkraft bei Drillknicken
$N_{cr,TF}$	ideale Verzweigungslast unter Normalkraft für Biegedrillknicken
$N_{cr,V}$	effektive ideale Verzweigungslast unter Normalkraft für das mehrteilige Bauteil, einschließlich des Einflusses seiner Schubsteifigkeit
$N_{cr,y}, N_{cr,z}$	ideale Verzweigungslast unter Normalkraft für das Biegeknicken um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck)
$N_{Ed,m}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck) an einem Querschnitt m
$N_{f,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im druckbeanspruchten Flansch im Bereich einer Stützung am Fließgelenk

$N_{\text{net,Rd}}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Nettoquerschnitts
$N_{\text{pl,Rd}}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts
N_{Rd}	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit
N_{Rk}	charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit
$N_{\text{Rk,m}}$	charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit am Querschnitt m
$N_{\text{t,Rd}}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit unter Zugbeanspruchung
$N_{\text{u,Rd}}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher
P_k	charakteristischer Wert einer während der Errichtung aufgebrachten Vorspannkraft
Q_m	lokale Ersatzkraft auf stabilisierende Bauteile im Bereich von Fließgelenken
R_{eH}	Streckgrenze nach der entsprechenden Produktnorm
R_d	Bemessungswert einer Beanspruchbarkeit
R_k	charakteristischer Wert einer Beanspruchbarkeit
R_m	Zugfestigkeit nach der entsprechenden Produktnorm
S	statisches Flächenmoment
S_v	Schubsteifigkeit infolge der Verformungen des Gitterstabs oder Bindeblechs
S_v	Schubsteifigkeit der Bleche im Hinblick auf die Verformungen des Trägers in der Blechebene
T_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes
$T_{\text{t,Ed}}$	Bemessungswert des einwirkenden St. Venant'schen Torsionsmoments
T_{Rd}	Bemessungswert der Torsionsmomententragfähigkeit
$T_{\text{w,Ed}}$	Bemessungswert des einwirkenden Wölbkrafttorsionsmoments
$V_{\text{c,Rd}}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit
V_{Ed}	Bemessungswert der Querkraft
V_{Ed}^I	Bemessungswert der Querkraft erster Ordnung in einem mehrteiligen Bauteil
$V_{\text{pl,Rd}}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit
$V_{\text{pl,T,Rd}}$	Bemessungswert der abgeminderten plastischen Querkrafttragfähigkeit unter Berücksichtigung eines Torsionsmoments
$W_{\text{B,pl}}$	plastisches Widerstandsmoment für den plastischen Widerstand des Wölbmoments
W_{eff}	wirksames Widerstandsmoment
$W_{\text{eff,min}}$	kleinstes wirksames elastisches Widerstandsmoment
W_{el}	elastisches Widerstandsmoment
$W_{\text{el,min}}$	kleinstes elastisches Widerstandsmoment
$W_{\text{el,y}}, W_{\text{el,z}}$	elastisches Widerstandsmoment für die Biegung um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse
W_{ep}	elastisch-plastisches Widerstandsmoment für einen Querschnitt der Klasse 3
$W_{\text{ep,y}}, W_{\text{ep,z}}$	elastisch-plastisches Widerstandsmoment für die Biegung um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse

W_{pl}	plastisches Widerstandsmoment
$W_{pl,y}, W_{pl,z}$	plastisches Widerstandsmoment für die Biegung um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse
X_d	Bemessungswert einer Basisvariable
X_k	charakteristischer Wert einer Basisvariable
$X_{k,i}$	charakteristischer Wert einer Werkstoffeigenschaft
$X_{k,th}$	charakteristischer Sollwert einer Basisvariable
X_m	Mittelwert einer Basisvariable
X_n	Nennwert einer Basisvariable
X_{rep}	repräsentativer Wert von Werkstoffeigenschaften
$X_{5\%}$	oberer Referenzwert
$X_{0,12\%}$	unterer Referenzwert
Z_{Ed}	erforderlicher Z-Wert des Werkstoffs aus Dehnungsbeanspruchung in Blechdickenrichtung
Z_{Rd}	verfügbarer Z-Wert des Werkstoffs in Blechdickenrichtung

3.2.2 Lateinische Kleinbuchstaben

a	Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche
a_d	Bemessungswert der geometrischen Parameter
a_f	Verhältnis der Querschnittsfläche der kleineren Seiten zur Bruttoquerschnittsfläche für rechteckige Hohlquerschnitte
a_w	Verhältnis der Querschnittsfläche der größeren Seiten zur Bruttoquerschnittsfläche für rechteckige Hohlquerschnitte
b	Querschnittsbreite
c	Breite oder Höhe eines Querschnittsteils
d	Außendurchmesser eines runden Hohlquerschnitts
d_{ch}	Abstand entlang eines Gurtes eines mehrteiligen Bauteils zwischen zwei aufeinander folgenden Gitterstäben oder Bindeblechen
d_e	äquivalenter Durchmesser für runde und elliptische Hohlquerschnitte
d_w	Stegdicke zwischen den Ausrundungen oder Nahtübergängen
d_z	Abstand von seitlichen Zwischenabstützpunkten vom Schubmittelpunkt des Querschnitts
d_0	Schraubenlochdurchmesser
e_N	Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts
$e_{N,y}$	Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts, die zu einem Biegemoment um die y-y-Achse führt
$e_{N,z}$	Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts, die zu einem Biegemoment um die z-z-Achse führt
e_0	äquivalente Vorkrümmung

$e_{0,LT}$	äquivalente Vorkrümmung für Biegedrillknicken
$e_{0,m}$	äquivalente Vorkrümmung am kritischen Querschnitt m
f_m	Faktor zur Berücksichtigung der Auswirkung der Biegemomentverteilung zwischen getrennten seitlichen Stützpunkten
f_y	Streckgrenze
$f_{y,red}$	abgeminderte Streckgrenze
f_u	Zugfestigkeit
h	Querschnittshöhe
h_w	Tiefe des Stegbleches
h_0	Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe
i	Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene bezogen auf den Bruttoquerschnitt
i_{min}	kleinster Trägheitsradius von Einzelwinkeln
i_y, i_z	Trägheitsradius für die Biegung um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse
i_p	polarer Trägheitsradius
i_0	minimaler Trägheitsradius des Querschnitts eines mehrteiligen Bauteils mit über Eck gestelltem Gitterstab
k	Korrekturbeiwert für die Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts
k_σ	Beulfaktor
k_c	Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Momentenverteilung
k_{ij}	Interaktionsbeiwerte (allgemeines Symbol für k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} und k_{zz})
k_{sw}	Verstärkungsfaktor zur Berücksichtigung von Einflüssen aus der Theorie II. Ordnung auf die seitliche Verformung aufgrund vertikaler Lasten
k_w	Interaktionsbeiwert für auf Biegung, Drucknormalkraft und Torsion beanspruchte Bauteile mit konstantem Querschnitt, um die Wölbbimomentenwirkung zu erfassen
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$	Interaktionsbeiwerte für auf Biegung und Drucknormalkraft beanspruchte Bauteile mit konstantem Querschnitt
k_{zw}	Interaktionsbeiwert für auf Biegung, Drucknormalkraft und Torsion beanspruchte Bauteile mit konstantem Querschnitt, um den Einfluss von Biegemomenten um die z-z-Achse zu erfassen
k_α	Interaktionsbeiwert für auf Biegung, Drucknormalkraft und Torsion beanspruchte Bauteile mit konstantem Querschnitt, um den Einfluss von Biegemomenten um die y-y-Achse zu erfassen
k_σ	Beulfaktor
k_0	Grenzwert für $\alpha_{cr,ns}$
m	Anzahl der Stützen in einer Reihe oder der auszusteifenden Bauteile
n	Verhältnis von Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft zum Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts
n_p	Anzahl der Ebenen der Gitterstäbe oder Bindebleche

n_y	Verhältnis von Bemessungswert der Normalkraft zu Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit eines druckbeanspruchten Bauteils für das Knicken um die y-y-Achse
n_z	Verhältnis von Bemessungswert der Normalkraft zu Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit eines druckbeanspruchten Bauteils für das Knicken um die z-z-Achse
n_1	Anzahl der Löcher längs einer kritischen Risslinie (in einer Diagonalen oder Zickzacklinie), die sich über den Querschnitt oder über Querschnittsteile erstreckt
n_2	Anzahl der Löcher in einem Querschnitt bei nicht versetzt angeordneten Löchern
p	Abstand zwischen Mittelpunkten von benachbarten Löchern, entlang der Profilmittellinie in einem Winkel gemessen
p_2	Lochabstand bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion senkrecht zur Bauteilachse
q_d	Bemessungswert der Ersatzlast je Längeneinheit
r	Ausrundungsradius
r_1	Ausrundungsradius
r_2	Abrundungsradius
s	Lochabstand bei versetzten Löchern, gemessen als Abstand der Lochachsen parallel zur Bauteilachse
s_s	Länge des steifen Lagers
t	Dicke
t_{cor}	Kerndicke
t_d	Bemessungsdicke
t_f	Flanschdicke
t_{mc}	Dicke der Metallbeschichtung
t_{nom}	Nennstärke des Blechs
tol	Mindestwert der Grenzabweichung der Dicke
t_w	Stegdick

3.2.3 Griechische Großbuchstaben

ΔA_{net}	abzuziehende Schnittfläche zur Berücksichtigung der Löcher
Δ_f	Horizontalverschiebung der oberen Knoten gegenüber den unteren Knoten eines Stockwerks infolge H_f
ΔM_{Ed}	Zusatzmoment aus der Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts
$\Delta M_{y,\text{Ed}}$	Moment um die y-y-Achse aufgrund der Verschiebung der Hauptachse
$\Delta M_{z,\text{Ed}}$	Moment um die z-z-Achse aufgrund der Verschiebung der Hauptachse
Φ	Wert zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ für das Biegeknicken
Φ_{LT}	Wert zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ_{LT} für das Biegedrillknicken

3.2.4 Griechische Kleinbuchstaben

α	Imperfektionsbeiwert
α_c	Anteil eines Querschnittsteils unter Druckbeanspruchung
α_{cr}	kleinstmöglicher Vergrößerungsfaktor der Kraft
$\alpha_{cr,ns}$	Faktor, mit dem der Bemessungswert der Einwirkungen erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast für eine Knickbiegeline, entweder in oder aus der Ebene, am seitlich unverschieblichen System zu erreichen
$\alpha_{cr,op}$	kleinster Vergrößerungsbeiwert für die Bemessungslasten in der Ebene, um die ideale Verzweigungslast bezüglich Biegeknicken oder Biegedrillknicken zu erreichen
$\alpha_{cr,sw}$	Faktor, mit dem die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden müssten, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks am seitlich unverschieblichen System zu erreichen
α_h	Faktor zur Beschreibung des Momentenverlaufs; h = negatives Moment
α_H	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit der Stützhöhe H
α_{LT}	Imperfektionsbeiwert für Biegedrillknicken
α_m	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Stützen in einer Reihe oder der auszusteifenden Bauteile
α_R	tragfähigkeitsseitiger Wichtungsfaktor zur Kalibrierung von Teilsicherheitsbeiwerten
α_{Rk}	kleinstmöglicher Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte in den Bauteilen, um den charakteristischen Widerstand des maximal beanspruchten Querschnitts zu erreichen, ohne jedoch das Knicken selbst zu berücksichtigen
α_s	Faktor zur Beschreibung des Momentenverlaufs; s = positives Moment
α_T	Wärmeausdehnungskoeffizient.
α_{TF}	Imperfektionsbeiwert für Biegedrillknicken
$\alpha_{ult,k}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um den charakteristischen Wert der Tragfähigkeit bei Unterdrückung von Verformungen aus der Ebene zu erreichen
α_y	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen
α_z	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen
β	Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung
β_c	Anpassungsfaktor des druckbeanspruchten Flansches
$\beta_{ep,y}, \beta_{ep,z}$	Interpolationsbeiwert für die Biegung um die y-y-Achse bzw. z-z-Achse
β_{LT}	Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung für Biegedrillknicken
γ_{Mi}	Teilsicherheitsbeiwert (allgemeines Symbol)
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen)
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung
γ_R	Teilsicherheitsbeiwert für diese Beanspruchbarkeit
δ_q	Durchbiegung des stabilisierenden Systems unter der Ersatzkraft q

ε	Werkstoffparameter in Abhängigkeit von f_y
ε_t	Zugdehnung
η	Beiwert für die wirksame Schubfläche
$\eta_{cr}(x)$	Form der maßgebenden Knickbiegeline nach der Elastizitätstheorie (erster oder höherer Ordnung)
η_i	Umrechnungsfaktor
$\eta_{init}(x)$	Form der äquivalenten geometrischen Ersatzimperfektion
θ	Winkel zwischen den Schwerachsen von Gitterstäben und Gurtstäben
$\bar{\lambda}$	bezogener Schlankheitsgrad
$\bar{\lambda}_{c,z}$	bezogener Schlankheitsgrad des äquivalenten druckbeanspruchten Flansches
$\bar{\lambda}_{c,z,mod}$	modifizierter bezogener Schlankheitsgrad des äquivalenten druckbeanspruchten Flansches
$\bar{\lambda}_m$	bezogener Schlankheitsgrad bezogen auf den Querschnitt m
$\bar{\lambda}_{LT}$	bezogener Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken
$\bar{\lambda}_{LT,lim}$	Grenzwert des bezogenen Schlankheitsgrad für die Empfindlichkeit gegen Biegedrillknicken
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Plateaulänge der Biegedrillknicklinie für gewalzte und geschweißte Querschnitte
$\bar{\lambda}_{op}$	globaler bezogener Schlankheitsgrad eines Bauteils oder einer Bauteilkomponente zur Berücksichtigung von Stabilitätsverhalten aus der Ebene
$\bar{\lambda}_T$	bezogener Schlankheitsgrad für Drillknicken
$\bar{\lambda}_{TF}$	bezogener Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken
λ_1	Bezugsschlankheitsgrad zur Bestimmung des bezogenen Schlankheitsgrads
μ	Beiwert des Wirkungsgrads in mehrteiligen Bauteilen
ν	Poissonsche Zahl
ρ	Abminderungsbeiwert zur Bestimmung des Bemessungswerts der abgeminderten plastischen Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung von Querkräften
σ	Normalspannung
$\sigma_{com,Ed}$	maximaler Bemessungswert der Druckspannung in Längsrichtung
$\sigma_{eq,Ed}$	Bemessungswert der äquivalenten Normalspannung in Längsrichtung
$\sigma_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung infolge Wölb-bimoment B_{Ed}
$\sigma_{x,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung
$\sigma_{z,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Querrichtung
τ_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung
$\tau_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge St. Venant'scher (primärer) Torsion
$\tau_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion
ϕ	Anfangsschiefstellung
ϕ_0	Ausgangswert der Anfangsschiefstellung
χ	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knickkurve

χ_{LT}	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken
χ_m	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knickkurve in Abhängigkeit des bezogenen Schlankheitsgrads $\bar{\lambda}_m$
χ_{op}	Abminderungsbeiwert für den bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{op}$
χ_T	Abminderungsbeiwert für Drillknicken
χ_{TF}	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken
χ_y	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken um die y-y-Achse
χ_z	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken um die z-z-Achse
ψ	Verhältnis von Endmomenten in einem Trägerabschnitt oder Spannungsverhältnis

3.3 Definition der Bauteilachsen

(1) Die Bauteilachsen werden wie folgt definiert:

x-x — längs des Bauteils;

y-y — Querschnittsachse;

z-z — Querschnittsachse.

(2) Die Querschnittsachsen von Stahlbauteilen werden wie folgt definiert:

— Allgemein:

y-y — Querschnittsachse parallel zu den Flanschen;

z-z — Querschnittsachse rechtwinklig zu den Flanschen.

— für Winkelprofile:

y-y — Querschnittsachse parallel zum kleineren Schenkel;

z-z — Querschnittsachse rechtwinklig zum kleineren Schenkel.

— wenn erforderlich:

u-u — starke Querschnittshauptachse (falls diese nicht mit der y-y-Achse übereinstimmt);

v-v — schwache Querschnittshauptachse (falls diese nicht mit der z-z-Achse übereinstimmt);

(3) Die Symbole für die Abmessungen und Achsen gewalzter Stahlprofile sind in Bild 3.1 angegeben.

(4) Die Vereinbarung für Indizes zur Bezeichnung der Achsen von Momenten lautet: „Es gilt die Achse, um die das Moment wirkt.“

ANMERKUNG Alle Regeln nach EN 1993 beziehen sich auf die Eigenschaften in den Hauptachsenrichtungen, welche im Allgemeinen als y-y-Achse und z-z-Achse für symmetrische Querschnitte und u-u-Achse und v-v-Achse für unsymmetrische Querschnitte, wie z. B. Winkel, festgelegt sind.

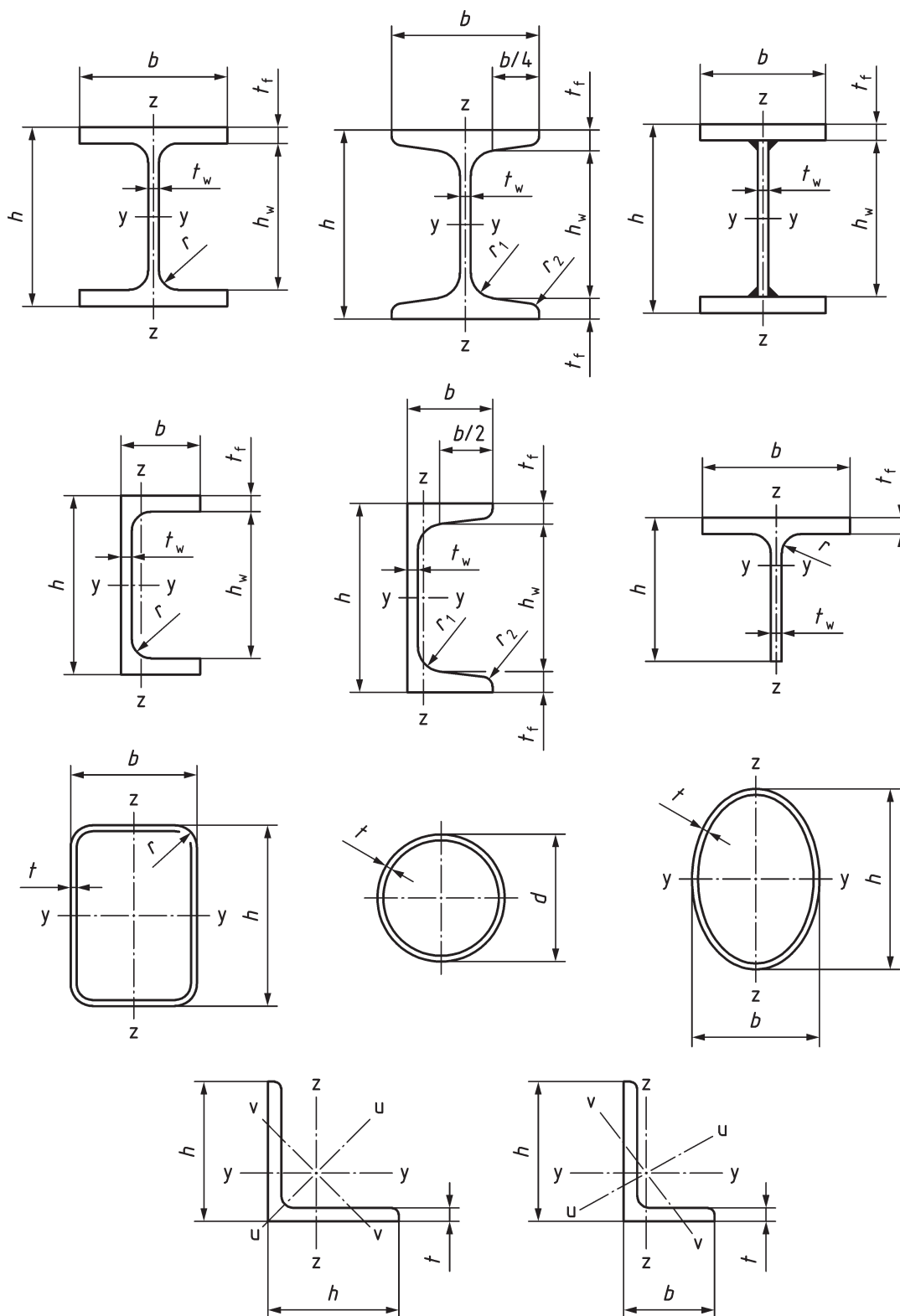


Bild 3.1 — Abmessungen und Achsen von Profilquerschnitten

4 Grundlagen für die Tragwerksplanung

4.1 Allgemeine Regeln

4.1.1 Grundlegende Anforderungen

(1)P Für die Tragwerksplanung von Stahlbauten gelten die Grundlagen von EN 1990 und die spezifischen Bemessungsregeln für Stahlbauten nach diesem Teil EN 1993-1-1.

(2)P Stahlbauten, die nach EN 1993 bemessen werden, müssen in Übereinstimmung mit EN 1090-2 und/oder EN 1090-4 ausgeführt werden.

4.1.2 Tragwerkszuverlässigkeit

(1)P Um die Zuverlässigkeit der fertiggestellten Bauwerke zu erzielen, die nach EN 1990 erforderlich ist, muss eine geeignete Ausführungsklasse nach Anhang A für Stahlbauten gewählt werden, die nach EN 1090-2 und EN 1090-4 ausgeführt werden.

(2) Falls eine andere als die in dieser Norm empfohlene Zuverlässigkeit gefordert wird, sollte diese durch entsprechende Gütesicherungsmaßnahmen bei der Tragwerksplanung und der Ausführung nach EN 1990, EN 1090-2 und EN 1090-4 erreicht werden.

4.1.3 Robustheit

(1) Die Regeln bezüglich der Robustheit nach EN 1990 sollten eingehalten werden.

(2) Die allgemeine Anordnung des Tragwerks und die Interaktion und Verbindung seiner verschiedenen Teile sollten so beschaffen sein, dass sie eine geeignete Robustheit während der Bauausführung und Nutzung bieten.

4.1.4 Nutzungsdauer bei Hochbauten

(1)P,B Zur Festlegung der vorgesehenen Nutzungsdauer von Hochbauten müssen die Festlegungen nach EN 1990 eingehalten werden.

(2)B Für Bauteile, die nicht für die gesamte Nutzungsdauer von Hochbauten bemessen werden können (z. B. Bauteile, die austauschbar sein sollen, wie Lager), siehe Abschnitt 6(5)B.

4.1.5 Dauerhaftigkeit

(1)P Abhängig von der Art der Einwirkungen, die die Nutzungsdauer (siehe EN 1990) beeinflussen, muss bei Stahltragwerken Folgendes beachtet werden:

- Bemessung für die Auswirkungen von Korrosion, durch:
 - geeignetem Schutz der Oberfläche (siehe EN ISO 12944, EN ISO 1461);
 - Einsatz von wetterfestem Baustahl (siehe EN 10025-5);
 - Einsatz von nichtrostendem Stahl (siehe EN 1993-1-4).
- Bemessung für die Auswirkungen von Ermüdung (siehe Abschnitt 10 und EN 1993-1-9);
- Berücksichtigung der Auswirkung von Verschleiß beim Entwurf;
- Bemessung für außergewöhnliche Einwirkungen (siehe EN 1991-1-7);
- Sicherstellung von Inspektions- und Wartungsmaßnahmen.

(2)P Für weiterführende Überlegungen zur Dauerhaftigkeit muss Abschnitt 6 eingehalten werden.

4.2 Prinzipien der Bemessung nach Grenzzuständen

(1)P Für Tragwerke aus Stahl müssen der Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für alle Aspekte des Tragwerkes berücksichtigt werden.

(2)P Für Tragwerke aus Stahl müssen alle relevanten Bemessungssituationen berücksichtigt werden, einschließlich der relevanten Phasen während der Errichtung.

ANMERKUNG Für die Auswahl der Bemessungssituation siehe EN 1990.

4.3 Basisvariablen

4.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

(1)P Die charakteristischen Werte von Einwirkungen für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, einschließlich örtlicher oder klimatischer oder außergewöhnlicher Einwirkungen müssen den einschlägigen Teilen der Normenreihe EN 1991 entnommen werden.

(2) Die zu berücksichtigenden Einwirkungen während der Bauzustände dürfen EN 1991-1-6 entnommen werden.

(3) Auswirkungen absehbarer Setzungen und Setzungsunterschiede sollten auf der Grundlage realistischer Annahmen berücksichtigt werden.

(4) Einflüsse aus ungleichmäßigen Setzungen, eingepprägten Verformungen und Formen von Vorspannungen während der Montage sollten durch Verwendung des Nennwerts der Vorspannkraft P_k als ständige Einwirkung berücksichtigt werden; sie werden mit den anderen ständigen Lasten G_k zu einer ständigen Gesamteinwirkung $G_k + P_k$ zusammengefasst.

(5) Einwirkungen, die zu Ermüdungsbeanspruchungen führen und nicht in EN 1991 (alle Teile) festgelegt sind, sollten nach EN 1993-1-9 bestimmt werden.

4.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften sowie geometrische Größen

(1) Werkstoffeigenschaften für Stahl und andere Bauprodukte und geometrische Größen für die Bemessung sollten den Festlegungen in EN- und EN ISO-Produktnormen entsprechen; oder sie sollten einer transparenten und vergleichpräzisen Beurteilung mit allen Anforderungen eines Europäischen Bewertungsdokuments (EAD) oder einer Europäische Technische Zulassung (ETA) entsprechen, sofern in EN 1993-1-1, Abschnitt 5, keine andere Regelung vorgesehen ist.

(2) Die Nennwerte der Werkstoffeigenschaften sollten als charakteristische Werte bei der Bemessung angenommen werden.

(3) Für die Tragwerksberechnung und die Bemessung dürfen die Nennwerte der Abmessungen verwendet werden.

4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

4.4.1 Bemessungswerte von Einwirkungen

(1)P Für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten müssen die Kombination von Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte von Einwirkungen nach EN 1990:—², Anhang A hergeleitet werden.

² In Vorbereitung. Aktueller Stand: prEN 1990:2020.

4.4.2 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften

(1)P Für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten muss der Bemessungswert von Werkstoffeigenschaften hergeleitet werden, indem sein charakteristischer Wert X_k oder Nennwert X_n durch den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert für die Werkstoffe, γ_M dividiert wird.

4.4.3 Bemessungswerte der geometrischen Größen

(1) Geometrische Größen für die Querschnitte und Abmessungen des Tragwerks dürfen EN- und EN ISO-Produktnormen, EADs, ETAs oder Bauteilspezifikationen für die Ausführung nach EN 1090 entnommen werden; sie sind als Nennwerte zu behandeln.

(2) Die Maße von warmgewalzten Profilen dürfen EN 10365 entnommen werden.

ANMERKUNG Die Norm EN 10365 gibt nicht den Ausrundungsradius an. Er kann jedoch aus der Querschnittsfläche und den anderen Maßen berechnet werden, sofern im nationalen Anhang nichts anderes angegeben ist.

(3) Die in dieser Norm festgelegten Bemessungswerte der geometrischen Ersatzimperfectionen enthalten:

- Einflüsse aus geometrischen Imperfectionen, die durch geometrische Toleranzen in den Produktnormen oder Ausführungsnormen begrenzt sind;
- Einflüsse struktureller Imperfectionen infolge Herstellung und Bauausführung;
- Eigenspannungen;
- ungleichmäßige Verteilung der Streckgrenze.

(4) Die Bemessungsregeln nach EN 1993-1-1 sollten auf Stähle mit einer Nennwerkstoffdicke von t größer gleich 3 mm angewendet werden.

(5) Die Bemessungsregeln nach EN 1993-1-1 dürfen ebenfalls auf Bauteile aus Stahl mit Nennwerkstoffdicken t kleiner als 3 mm, aber größer oder gleich 1,5 mm angewendet werden, vorausgesetzt, es wird die Bemessungsdicke t_d verwendet. Die Bemessungsdicke t_d ermittelt sich aus der Kerndicke des Stahls t_{cor} anstatt aus der Nenndicke t , wie folgt:

$$\begin{aligned} t_d &= t_{cor} && \text{wenn } tol \leq 5 \% \\ t_d &= t_{cor} \frac{100 - tol}{95} && \text{wenn } tol > 5 \% \end{aligned} \quad (4.1)$$

Dabei ist

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{mc}$$

tol die negative Toleranz der Dicke in % nach der zutreffenden EN oder EN ISO, EAD oder ETA;

t_{nom} die Nenndicke des ursprünglichen Blechs, einschließlich Zink und anderer metallischer Beschichtung und ausgenommen organische Beschichtung;

t_{mc} die Dicke der Metallbeschichtung.

4.4.4 Toleranzen

(1) Die Toleranzen für Abmessungen und Massen von gewalzten Profilen, Hohlprofilen und Blechen sollten der maßgebenden EN- oder EN ISO-Produktnorm, EAD oder ETA entsprechen, sofern nicht strengere Toleranzforderungen durch die zuständigen Behörden festgelegt oder durch die zuständigen Parteien für ein spezifisches Projekt vereinbart wurden.

(2) Herstellungs- und Errichtungstoleranzen sollten mit EN 1090-2 und EN 1090-4 übereinstimmen.

4.4.5 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

(1) Für Tragwerke aus Stahl gilt EN 1990, Gleichung (8.20):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} = \frac{R\{X_{rep}; \alpha_d; \sum F_{Ed}\}}{\gamma_R} \quad (4.2)$$

Dabei ist

F_{Ed} die Bemessungswerte von Einwirkungen, siehe 4.4.1;

$R\{\dots\}$ das Ergebnis des Beanspruchbarkeitsmodells;

R_k der charakteristische Wert dieser Beanspruchbarkeit;

X_{rep} die repräsentativen Werte der Werkstoffeigenschaften, definiert als ηX_k , sofern nicht in speziellen Regeln anders festgelegt, werden die Nennwerte der Werkstoffeigenschaften nach 5.2.1 in EN 1993 verwendet.

α_d die Bemessungswerte der geometrischen Parameter, siehe 4.4.3;

γ_R der Teilsicherheitsbeiwert für diese Beanspruchbarkeit. In EN 1993-1-1, wird für γ_R der Wert des geeigneten Teilsicherheitsbeiwerts γ_{Mi} angesetzt, siehe 8.1.

4.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen

(1) Werte für die Beanspruchbarkeiten R_k oder R_d dürfen unter Anwendung der Verfahren einer Bemessung mit Hilfe von Versuchen bestimmt werden.

ANMERKUNG Ein Leitfaden zur Bemessung mit Hilfe von Versuchen ist in EN 1990:—³, Anhang D angegeben. Spezifischere Festlegungen können in anderen Teilen von EN 1993 enthalten sein.

5 Material

5.1 Allgemeines

(1) Für den Entwurf und die Bemessung von Stahltragwerken nach EN 1993-1-1 sollte das Material für die Fertigung den Stahlsorten nach Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 und den folgenden Produktnormen entsprechen: EN 10025, EN 10149, EN 10210-1, EN 10210-2, EN 10219-1 und EN 10219-2.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang gibt Hinweise zur Anwendung von Stahlsorten und Stahlprodukten.

(2)P Wenn andere Stahlsorten als die in (1) genannten verwendet werden, müssen die Eigenschaften (mechanische Eigenschaften und Schweißbarkeit) bekannt sein und die mechanischen Eigenschaften müssen bei einer Prüfung nach den entsprechenden EN-, ISO- oder EN ISO-Prüfnormen den in 5.2.2, 5.2.3 und 5.2.4 angegebenen Bedingungen entsprechen.

³ In Vorbereitung. Aktueller Stand: prEN 1990:2020.

5.2 Baustahl

5.2.1 Werkstoffeigenschaften

(1) Die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl sollten:

- a) entweder direkt als Werte $f_y = R_{eH}$ und $f_u = R_m$ (als untere Grenze des angegebenen Bereichs) aus der Produktnorm; oder
- b) durch Verwendung der Werte in Tabelle 5.1 für Stahl entsprechend EN 10025, EN 10210-1, EN 10219-1, und der Tabelle 5.2 für Stahl entsprechend EN 10149 sowie unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit von Material im Dickenbereich entsprechend der Produktnorm

ermittelt werden.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann zu a) oder b) eine Festlegung treffen unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf Teilsicherheitsbeiwerte und deren Kalibrierung entsprechend Anhang E und EN 1990. Bei Option b) muss der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} erhöht werden.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Regelungen für die Verwendung der Stähle entsprechend den Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 festlegen.

Tabelle 5.1 — Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl entsprechend der folgenden Normen: EN 10025, EN 10210-1, EN 10210-2, EN 10219-1 und EN 10219-2

Stahlsorte ^a	Erzeugnisdicke			
	t			
	mm			
	$t \leq 40$ mm		40 mm $< t \leq 80$ mm	
	f_y	f_u	f_y	f_u
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
S235	235	360	215	360
S275	275	390	245	370
S355	355	490	325	470
S420	420	510	390	490
S460	460	540	410	510
S500	500	580	450	580
S550	550	600	500	600
S600	600	650	550	650
S620	620	700	560	660
S650	650	700	–	–
S690	690	770	630	710
S700	700	750	–	–
^a Hauptsymbole nach EN 10027-1.				

Tabelle 5.2 — Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzte Flacherzeugnisse zum Kaltumformen, entsprechend EN 10149

Werkstoffnorm, Stahlsorte und -güte	Erzeugnisdicke t mm			
	$t \leq 8$ mm		$8 \text{ mm} < t \leq 20$ mm	
	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²
EN 10149-2^a				
S 315 MC	315	390	315	390
S 355 MC	355	430	355	430
S 420 MC	420	480	420	480
S 460 MC	460	520	460	520
S 500 MC	500	550	500 ^b	550 ^b
S 550 MC	550	600	550 ^b	600 ^b
S 600 MC	600	650	600 ^b	650 ^b
S 650 MC	650	700	630 ^b	700 ^b
S 700 MC	700	750	680 ^b	750 ^b
EN 10149-3^a				
S 260 NC	260	370	260	370
S 315 NC	315	430	315	430
S 355 NC	355	470	355	470
S 420 NC	420	530	420	530
^a Nachweis der Kerbschlagarbeit nach EN 10149-1:2013, Abschnitt 11, Option 5 sollte spezifiziert werden. ^b $t \leq 16$ mm				

5.2.2 Anforderungen an die Duktilität

(1)P Eine Mindestduktilität ist erforderlich, die durch Grenzwerte für folgende Kennwerte definiert sein muss:

- das Verhältnis f_u/f_y ;
- die auf die Messlänge von $5,65 \sqrt{A_0}$ bezogene Bruchdehnung (wobei A_0 die Ausgangsquerschnittsfläche ist).

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Grenzwerte festlegen. Folgende Werte werden empfohlen:

- a) Für die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie
 - $f_u/f_y \geq 1,10$;
 - Bruchdehnung mindestens 15 %;
- b) Für die Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie
 - $f_u/f_y \geq 1,05$;
 - Bruchdehnung mindestens 12 %.

(2) Bei Erzeugnissen aus Stahlsorten nach den Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 darf davon ausgegangen werden, dass sie die Mindestanforderungen an die Duktilität für die Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie erfüllen.

(3) Bei Stählen bis und einschließlich S460 entsprechend den Tabelle 5.1 und Tabelle 5.2 darf davon ausgegangen werden, dass sie die Mindestanforderungen an die Duktilität für eine Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie erfüllen.

5.2.3 Bruchzähigkeit

(1) Der Werkstoff muss eine ausreichende Bruchzähigkeit aufweisen, um Sprödbbruchversagen bei zugbeanspruchten Bauteilen bei der niedrigsten, in der geplanten Nutzungsdauer zu erwartenden Betriebstemperatur zu verhindern.

ANMERKUNG Die niedrigste Nutzungstemperatur kann durch den Nationalen Anhang festgelegt sein.

(2) Weitere Nachweise gegen Sprödbbruchversagen dürfen vernachlässigt werden, wenn die Anforderungen in EN 1993-1-10 für die niedrigste Nutzungstemperatur erfüllt sind.

(3) Für druckbeanspruchte Bauteile, sollte eine Mindestzähigkeitseigenschaft ausgewählt werden, unter Verwendung der geeigneten Tabelle für die quasistatische Belastung oder Ermüdungsbelastung nach EN 1993-1-10.

ANMERKUNG Für Stähle, die dafür vorgesehen sind feuerverzinkt zu werden, siehe EN ISO 1461.

5.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) Die Solleigenschaften in Dickenrichtung des Werkstoffs sollten bestimmt werden, indem der erforderliche Bemessungs-Z-Wert Z_{Ed} für den Werkstoff nach EN 1993-1-10 berechnet wird.

(2) Wenn ein Werkstoff mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung erforderlich ist ($Z_{Ed} > 10$), sollte eine Werkstoffgüteklasse nach EN 10164, d. h. Z 15, Z 25 oder Z 35, gewählt werden.

(3) Die Auswahl der Werkstoffgüteklasse sollte nach Tabelle 5.3 erfolgen.

ANMERKUNG Die Eigenschaften in Dickenrichtung sind für Platten relevant, die senkrecht zu ihrer Ebene belastet werden, z. B. für geschweißte Träger-Stütze-Verbindungen und geschweißte Endplatten mit Spannung in der Dickenrichtung.

Tabelle 5.3 — Auswahl der Werkstoffgüteklasse nach EN 10164

Soll-Bemessungswert Z_{Ed} nach EN 1993-1-10	Güteklasse nach EN 10164 (verfügbarer Z-Wert des Werkstoffs in Blechdickenrichtung)
$Z_{Ed} \leq 10$	–
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

5.2.5 Werte von anderen Werkstoffeigenschaften

(1) Die in den Berechnungen übernommenen Werkstoffeigenschaften sollten als die folgenden Mittelwerte für Stahl betrachtet werden:

— Elastizitätsmodul	$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
— Schubmodul	$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000 \text{ N/mm}^2$
— Poissonsche Zahl	$\nu = 0,3$
— Wärmeausdehnungskoeffizient.	$\alpha_T = 12 \times 10^{-6} \text{ je } K \text{ (für } T \leq 100 \text{ °C)}$

(2) Der Werkstoffparameter ε wird in mehreren Ausdrücken in EN 1993 (alle Teile) verwendet. Er wird wie folgt festgelegt:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (5.1)$$

Dabei ist

f_y die Streckgrenze, in N/mm^2 .

5.3 Verbindungsmittel

5.3.1 Schrauben, Bolzen, Nieten

(1) Bei Verbindungsmitteln sollten die Festlegungen nach EN 1993-1-8 eingehalten werden.

5.3.2 Schweißwerkstoffe

(1) Bei Schweißwerkstoffen sollten die Festlegungen nach EN 1993-1-8 eingehalten werden.

5.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau

(1)P,B Teilvorgefertigte oder komplett vorgefertigte Produkte jeder Art, die im Hochbau verwendet werden, müssen der maßgebenden EN- oder EN ISO-Produktnorm, der EAD oder ETA entsprechen.

6 Dauerhaftigkeit

(1)P Können Materialverschleiß, Korrosion oder Ermüdung maßgebend werden, müssen ein geeigneter Korrosionsschutz, eine geeignete Werkstoffwahl (siehe EN 1993-1-4, EN 1993-1-10) und eine geeignete Gestaltung der Konstruktion (siehe EN 1993-1-9) oder strukturelle Redundanz berücksichtigt werden.

(2)P Die Ausführung der Schutzmaßnahme muss EN 1090-2 entsprechen.

ANMERKUNG In EN 1090-2 sind die bei der Herstellung bzw. Montage zu beachtenden Einflussfaktoren aufgelistet, die bei Entwurf und Bemessung zu beachten sind.

(3)P Für Bauteile, die nicht inspiziert werden können, sind geeignete Korrosionsschutzmaßnahmen zu ergreifen.

(4) Bauteile, die anfällig sind gegen Korrosion, mechanische Abnutzung oder Ermüdung, sollten so konstruiert werden, dass die Bauwerksinspektion, Wartung und Instandsetzung in geeigneter Form möglich ist und Zugang für Inspektion und Wartung besteht.

(5)B Falls bei einem Bauwerk Bauteile austauschbar sein sollen (z. B. Lager), sollte der sichere Austausch als vorübergehende Bemessungssituation nachgewiesen werden.

(6)B Tragwerke innerhalb einer Gebäudehülle brauchen nicht mit einem Korrosionsschutz versehen zu werden, wenn die bezogene Luftfeuchte 80 % nicht überschreitet.

7 Tragwerksberechnung

7.1 Statische Systeme

7.1.1 Grundannahmen

(1)P Die statische Berechnung ist mit einem Berechnungsmodell zu führen, das für den zu betrachtenden Grenzzustand geeignet ist. Das Berechnungsverfahren muss den Bemessungsannahmen entsprechen.

7.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse

(1) Wenn die Einflüsse des Verhaltens der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformung des Tragwerks maßgebend sind, sollten sie berücksichtigt werden (wie z. B. bei verformbaren Anschlüssen), siehe EN 1993-1-8.

(2) Um festzustellen, ob Einflüsse aus dem Verhalten von Anschlüssen bei der Berechnung berücksichtigt werden müssen, darf zwischen folgenden drei Anschlussmodellen unterschieden werden:

- gelenkige Anschlüsse, wenn angenommen werden darf, dass der Anschluss keine Biegemomente überträgt;
- biegesteife Anschlüsse, wenn angenommen werden darf, dass der Anschluss keine relative Rotation zwischen verbundenen Bauteilen ermöglicht und der Anschluss somit keinen Einfluss auf die Tragwerksberechnung hat;
- verformbare Anschlüsse, wenn angenommen werden darf, dass der Anschluss eine relative Rotation und eine Biegemomentenübertragung zwischen verbundenen Bauteilen ermöglicht und somit das Verhalten des Anschlusses in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden muss.

(3) Bei unterschiedlichen Arten von Anschlüssen sollten die Festlegungen nach EN 1993-1-8 eingehalten werden.

7.2 Untersuchung von Gesamttragwerken

7.2.1 Berücksichtigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung

(1) Die Schnittgrößen dürfen im Allgemeinen entweder nach:

- Theorie I. Ordnung, ausgehend vom unverformten Tragwerk; oder nach
- Theorie II. Ordnung, unter Berücksichtigung des Einflusses der Tragwerksverformungen ermittelt werden.

(2) Die Einflüsse der Tragwerksverformungen (Einflüsse nach Theorie II. Ordnung) sollten berücksichtigt werden, wenn sie zu einer Vergrößerung der Schnittgrößen und Verformungen führen, die nicht mehr vernachlässigbar sind, oder dadurch das Tragverhalten maßgeblich verändert wird.

(3) Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung ist nicht erforderlich, wenn die Bedingungen (7.1) und (7.2) erfüllt sind.

(4) Wenn die Bedingung (7.1) erfüllt ist, dürfen die Einflüsse nach Theorie II. Ordnung für Biegeknicken des Bauteils in und aus der Ebene bei der Tragwerksberechnung vernachlässigt werden.

$$\alpha_{cr,ns} = \frac{F_{cr,ns}}{F_d} \geq k_0 \quad (7.1)$$

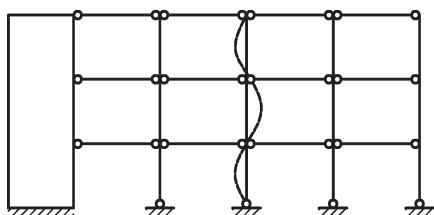
Dabei ist

- $F_{cr,ns}$ die kleinste ideale Verzweigungslast des einzelnen Bauteils für eine Knickbiegeline, entweder in oder aus der Ebene, am seitlich unverschieblichen System. Drillknicken oder Biegedrillknicken werden nicht berücksichtigt;
- F_d der Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;
- $\alpha_{cr,ns}$ der Faktor, mit dem der Bemessungswert der Einwirkung erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast für eine Knickbiegeline, entweder in oder aus der Ebene, am seitlich unverschieblichen System zu erreichen.

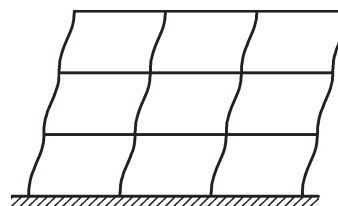
ANMERKUNG 1 Der Wert von k_0 ist 25, es sei denn, der Nationale Anhang gibt einen anderen Wert an.

ANMERKUNG 2 Für das Biegeknicken eines Tragwerks kann zwischen Knickbiegelineen am verschieblichen oder unverschieblichen System unterschieden werden, siehe Bild 7.1. Typisch für Knickbiegelineen an verschieblichen Systemen ist das Auftreten größerer seitlicher Verformungen an den Bauteilenden.

ANMERKUNG 3 Für die Anwendung von Gleichung (7.1) bei Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie, siehe 7.4.3.



(a) Knickbiegeline der einzelnen Bauteile am seitlich unverschieblichen Tragwerk



(b) Knickbiegeline bei Gesamtstabilitätsversagen eines verschieblichen Tragwerks

Bild 7.1 — Knickbiegelineen von verschieblichen und unverschieblichen Tragwerken

(5) Wenn die Bedingung (7.2) erfüllt ist, dürfen Einflüsse nach Theorie II. Ordnung infolge Gesamtstabilitätsversagen in der Ebene eines verschieblichen Tragwerks vernachlässigt werden und eine Tragwerksberechnung nach Theorie I. Ordnung (auch) für die Bestimmung der Biegemomente in der Ebene für den verschieblichen Versagensmodus durchgeführt werden.

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{F_{cr,sw}}{F_d} \geq 10 \quad (7.2)$$

Dabei ist

- $F_{cr,sw}$ die kleinste ideale Verzweigungslast für das Gesamtstabilitätsversagen in der Ebene für eine Knickbiegeline am verschieblichen System;
- F_d der Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;
- $\alpha_{cr,sw}$ der Faktor, mit dem der Bemessungswert der Einwirkung erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast für das Gesamtstabilitätsversagen in der Ebene für eine Knickbiegeline am verschieblichen System zu erreichen.

ANMERKUNG 1 Wenn die Bedingung (7.2) erfüllt wird, macht die Vergrößerung der Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung bei Gesamtstabilitätsversagen am verschieblichen Tragwerk nicht mehr als 10 % der ursprünglichen Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung aus.

ANMERKUNG 2 Für die Anwendung der Bedingung (7.1) und Bedingung (7.2) bei einer Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie, siehe 7.4.3.

(6) In den folgenden Fällen dürfen die Einflüsse nach Theorie II. Ordnung infolge Biegedrillknicken bei der Tragwerksberechnung und den zugehörigen Nachweisen vernachlässigt werden:

- für Querschnitte mit großer Torsionssteifigkeit, z. B. Hohlquerschnitte oder geschweißte Kastenquerschnitte;
- bei einfach-symmetrischen und doppelt-symmetrischen Querschnitten, wenn nur Biegemomente um die schwache Achse wirken;
- wenn der Druckgurt seitlich ausreichend gehalten ist, siehe Anhang D;
- wenn der Grenzwert für die bezogene Schlankheit für Biegedrillknicken nach 8.3.2.3(1) nicht überschritten wird.

(7) Mittragende Breiten und wirksame Breiten aus Plattenbeulen sollten berücksichtigt werden, falls sie die globale Tragwerksberechnung beeinflussen, siehe EN 1993-1-5.

(8) Bei gewalzten Profilen und geschweißten Profilen mit walzprofilähnlichen Abmessungen darf der Einfluss der mittragenden Breite und des Plattenbeulens auf die Steifigkeit vernachlässigt werden.

(9) Der Schlupf in Schraubenlöchern oder ähnliche Verformungen infolge Schlupf bei Kopfbolzendübeln oder Ankerbolzen sollten berücksichtigt werden, falls sie sich erheblich auf die Tragwerksberechnung auswirken.

(10)B Hallenrahmen mit Rahmenriegelneigungen, die nicht steiler als 1 :2 (26°) sind und Rahmentragwerke des Geschossbaus dürfen auf ein Gesamtstabilitätsversagen in der Ebene mit seitlichem Ausweichen nach Theorie I. Ordnung geprüft werden, wenn die Bedingung (7.2) für jedes Stockwerk eingehalten wird. $\alpha_{cr,sw}$ darf für ein Stockwerk nach Gleichung (7.3) berechnet werden, siehe Bild 7.2, vorausgesetzt, die Druckkraft in den Trägern oder Riegeln darf vernachlässigt werden (siehe auch (11)):

$$\alpha_{cr,sw} = \frac{K_{st} H_{st}}{\sum N_{Ed,i}} \quad (7.3)$$

Dabei ist

- | | |
|-----------------|---|
| K_{st} | die seitliche Steifigkeit des Stockwerkes. Diese darf mit einer linearen elastischen Berechnung unter Anwendung von Gleichung (7.4) berechnet werden; |
| H_f | eine horizontale Ersatzlast, die am oberen Ende der Stützen des Stockwerks angreift; |
| Δ_f | die Horizontalverschiebung der oberen Knoten gegenüber den unteren Knoten eines Stockwerks infolge H_f ; |
| $\sum N_{Ed,i}$ | die Summe der Normalkräfte in den Stützen im betrachteten Stockwerk; |
| H_{st} | die Höhe des Stockwerks. |

$$K_{st} = \frac{H_f}{\Delta_f} \quad (7.4)$$

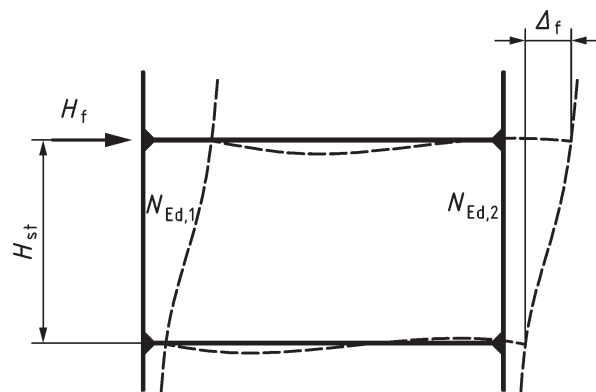


Bild 7.2 — Bezeichnungen zu 7.2.1(10)B

(11) Die Auswirkung der Druckkraft sollte bei der Anwendung von (10)B berücksichtigt werden, wenn der Schlankheitsgrad in den Trägern oder Riegeln unter Annahme gelenkiger Lagerung an den Enden folgende Gleichung erfüllt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \geq 0,1 \quad (7.5)$$

Dabei ist

- N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck);
- N_{cr} die ideale Verzweigungslast für Biegeknicken von Trägern oder Riegeln in der Ebene, die unter Ansatz der Systemlänge als gelenkig gelagert angenommen werden.

7.2.2 Art der Tragwerksberechnung in Abhängigkeit von der Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

(1) Die Art der Tragwerksberechnung (nach Theorie I. oder II. Ordnung unter Berücksichtigung von Imperfektionen) sollte in Übereinstimmung mit den Anforderungen des Querschnittsnachweises in 8.2 und des Stabilitätsnachweises für Bauteile nach 8.3 geführt werden.

(2) Abhängig von der Art des Bauwerks und dem Umfang der Tragwerksberechnung sollten Imperfektionen und Einflüsse nach Theorie II. Ordnung nach einem der folgenden Verfahren berücksichtigt werden:

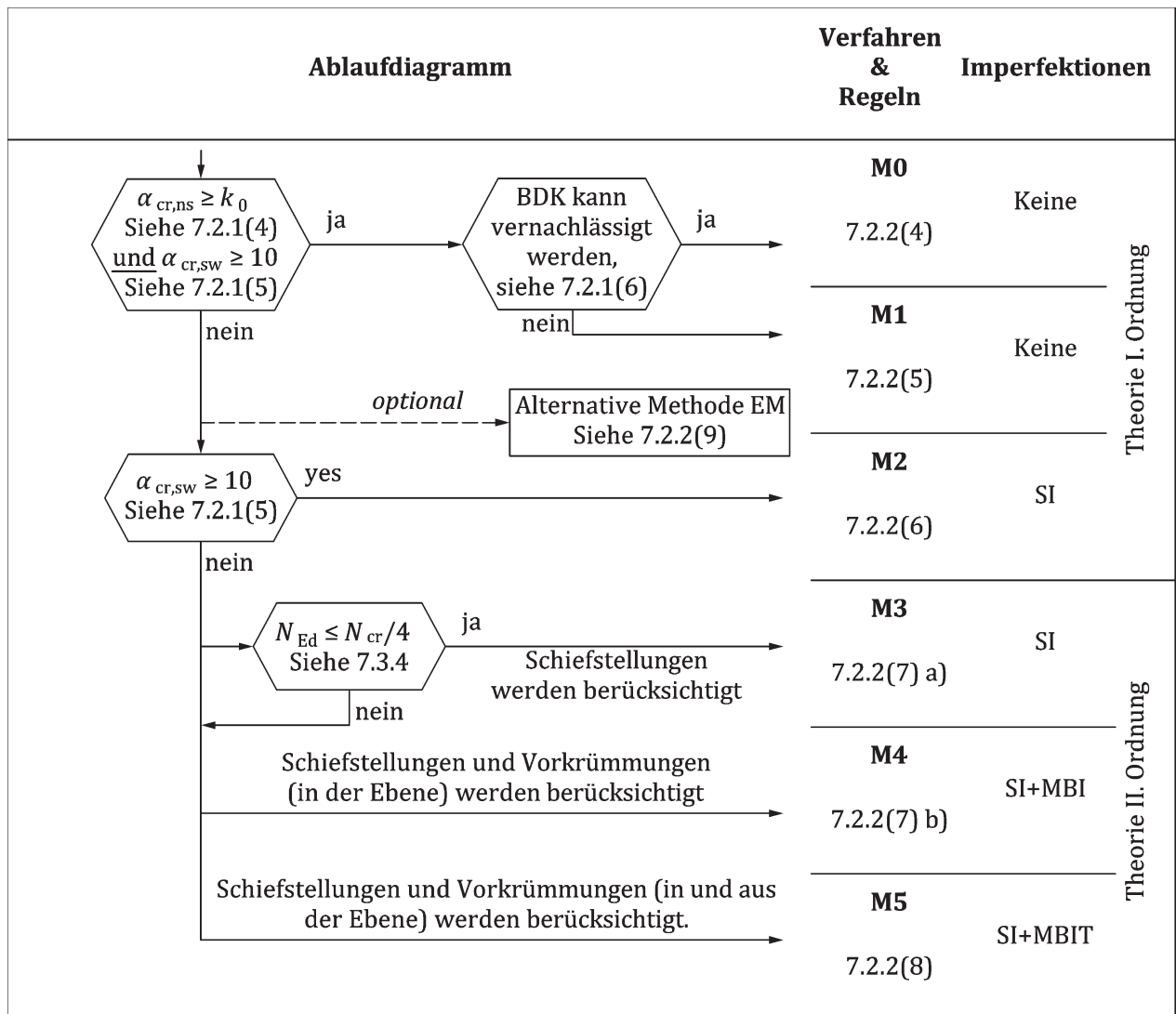
- a) vollständig im Rahmen der Tragwerksberechnung;
- b) teilweise im Rahmen der Tragwerksberechnung und teilweise als Einzelstabnachweis für das Biegeknicken/Biegedrillknicken nach 8.3;
- c) durch den Ersatzstabnachweis für das Biegeknicken nach 8.3 auf der Grundlage von Knicklängen entsprechend der Knickbiegeline bzw. Eigenform des Gesamttragwerks.

ANMERKUNG 1 Für Drillknicken und Biegedrillknicken unter Normalkraft, siehe 8.3.1.4.

ANMERKUNG 2 Berechnungsformeln für ideale Verzweigungslasten sind in CEN/TR 1993-1-103, Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-103: Ideale Verzweigungslasten von Bauteilen bereitgestellt.

(3) Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit dürfen nach einem im Folgenden mit M0, M1, M2, M3, M4, M5 oder EM bezeichneten Verfahren unter Berücksichtigung der in (4) bis (9) definierten Anwendungsgrenzen geführt werden, siehe Bild 7.3 für einen Überblick über die Anwendbarkeit dieser Verfahren. Genauere Verfahren dürfen immer anstelle von einfachen Verfahren angewandt werden.

ANMERKUNG Die Verfahren M0, M1, M2, M3, M4 und M5 sind entsprechend ihrer Komplexität aufsteigend nummeriert. Verfahren M0 ist das einfachste Verfahren und Verfahren M5 das aufwändigste.



Legende

BDK Biegedrillknicken
 EM Ersatzstabverfahren
 SI Schiefstellung
 MBI Vorkrümmung des Bauteils (in der Ebene)
 MBIT Vorkrümmung des Bauteils unter Berücksichtigung des Biegedrillknickens (in und aus der Ebene)

Bild 7.3 — Verfahren der Tragwerksberechnung anwendbar auf Nachweise des Grenzzustands der Tragfähigkeit der Bemessung

(4) Verfahren M0:

Falls Einflüsse nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden dürfen, da die Bedingungen in 7.2.1(4) und 7.2.1(5) erfüllt sind, und Biegedrillknicken nach 7.2.1(6) vernachlässigt werden darf, dann:

- darf der Querschnittsnachweis nach 8.2 auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden;
- ist ein Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab nach 8.3 nicht erforderlich;

- brauchen Imperfektionen bei der Tragwerksberechnung nicht berücksichtigt werden.

(5) Verfahren M1:

Falls Einflüsse nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden dürfen, da die Bedingungen in 7.2.1(4) und 7.2.1(5) erfüllt sind, aber Biegedrillknicken nach 7.2.1(6) nicht vernachlässigt werden darf, dann:

- darf der Querschnittsnachweis nach 8.2 auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden;
- ist ein Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab aus der Ebene nach 8.3 erforderlich; er darf aber mit Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden;
- brauchen Imperfektionen bei der Tragwerksberechnung nicht berücksichtigt werden.

(6) Verfahren M2:

Falls Einflüsse nach Theorie II. Ordnung für Biegeknicken des Bauteils nicht vernachlässigt werden dürfen (d. h. die Bedingung in 7.2.1(4) ist nicht erfüllt), aber Einflüsse nach Theorie II. Ordnung aus dem Gesamtstabilitätsversagen am verschieblichen Tragwerk in der Ebene dürfen vernachlässigt werden (d. h. die Bedingung in 7.2.1(5) ist erfüllt), dann:

- darf der Querschnittsnachweis nach 8.2 auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden;
- ist ein Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab in und aus der Ebene nach 8.3 erforderlich; er darf jedoch mit Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung unter Berücksichtigung der zugehörigen Momentenflächen geführt werden; die Knicklängen sind entsprechend der Eigenformen am unverschieblichen System zu bestimmen;
- dürfen bei der Tragwerksberechnung die Vorkrümmungen als Ersatzimperfektionen am Stab vernachlässigt werden, aber die Anfangsschiefstellung des Systems sollte berücksichtigt werden.

(7) Verfahren M3 und Verfahren M4:

Falls Einflüsse nach Theorie II. Ordnung für Biegeknicken des Bauteils nicht vernachlässigt werden dürfen (d. h. die Bedingung in 7.2.1(4) ist nicht erfüllt), und Einflüsse nach Theorie II. Ordnung aus dem Gesamtstabilitätsversagen am verschieblichen Tragwerk in der Ebene nicht vernachlässigt werden dürfen (d. h. die Bedingung in 7.2.1(5) ist nicht erfüllt), dürfen die Nachweise nach einem der folgenden Verfahren geführt werden:

a) Verfahren M3:

Falls die Anfangsschiefstellungen des Systems in der Tragwerksberechnung berücksichtigt sind und Stabvorkrümmungen nach 7.3.4 vernachlässigt werden dürfen, dann

- sollte der Querschnittsnachweis nach 8.2 mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung geführt werden;
- ist ein Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab in und aus der Ebene nach 8.3 erforderlich und sollte auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung erfolgen; die Schnittgrößen zwischen den Stabenden dürfen jedoch nach Theorie I. Ordnung bestimmt werden;
- in der Ebene darf die Knicklänge entsprechend der Eigenform am unverschieblichen System bestimmt werden.

b) Verfahren M4:

Falls alle Einflüsse nach Theorie II. Ordnung in der Ebene und beide Ersatzimperfectionen, die Anfangsschiefstellung des Systems und die Stabvorkrümmung, in der Tragwerksberechnung berücksichtigt sind, dann

- sollte der Querschnittsnachweis nach 8.2 mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung geführt werden;
- darf auf den Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab in der Ebene nach Gleichung (8.88) verzichtet werden;
- ist ein Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab aus der Ebene nach Gleichung (8.89) erforderlich und sollte auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung basieren.

ANMERKUNG Der Bezug auf Gleichung (8.88) und Gleichung (8.89) geht von der Annahme aus, dass die Biegemomente in der Ebene um die starke Querschnittsachse wirken. Im anderen Fall sind die Gleichungsnummern entsprechend auszutauschen.

(8) Verfahren M5:

Falls alle Einflüsse nach Biegetorsionstheorie II. Ordnung in und aus der Ebene und die Ersatzimperfectionen, d. h. Anfangsschiefstellung des Systems und die Stabvorkrümmungen in und aus der Ebene (siehe 7.3.4), in der Tragwerksberechnung berücksichtigt sind, dann:

- sollte der Querschnittsnachweis nach 8.2 mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung basieren;
- darf auf den Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab nach 8.3 verzichtet werden.

ANMERKUNG Wenn erforderlich, kann die Stabvorkrümmung aus der Ebene aus Tabelle 7.1 oder Tabelle 7.2, je nachdem welche größer ist, entnommen werden.

(9) Verfahren EM:

Falls die Einflüsse nach Theorie II. Ordnung in der Tragwerksberechnung nicht vernachlässigt werden dürfen, siehe 7.2.1(4), oder/und Biegeknicken aus dem Gesamtstabilitätsversagen am verschieblichen Tragwerk in der Ebene nicht vernachlässigt werden kann, siehe 7.2.1(5), dürfen die Nachweise für das Biegeknicken der Stäbe nach dem „Ersatzstabverfahren“ geführt werden. In diesem Fall:

- darf der Querschnittsnachweis nach 8.2 auf der Grundlage von Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden;
- brauchen in der Tragwerksberechnung keine Imperfectionen berücksichtigt zu werden;
- darf der Stabilitätsnachweis für den einzelnen Stab nach 8.3 mit Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung geführt werden; dabei sind die Knicklängen der einzelnen Stäbe am System (auch unter Berücksichtigung des Gesamtstabilitätsversagens am verschieblichen Tragwerk) zu bestimmen.

(10) Die Auswirkungen der Vernachlässigung der Einflüsse nach Theorie II. Ordnung bei der Bestimmung der Schnittgrößen für das Verfahren EM sollten für die Bemessung der Knoten und anschließenden Bauteile und auch für den Nachweis aus der Ebene für den einzelnen Stab berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Anwendungsgrenzen für das Ersatzstabverfahren (Verfahren EM) können durch den Nationalen Anhang festgelegt werden.

(11) Einflüsse aus Theorie II. Ordnung dürfen durch Anwendung eines für das Tragwerk geeigneten Berechnungsverfahrens ermittelt werden; dies kann ein schrittweises oder iteratives Verfahren sein. Bei Tragwerken, bei denen das seitliche Ausweichen die maßgebliche Knickfigur darstellt, darf eine elastische Berechnung nach Theorie I. Ordnung durchgeführt werden, bei der die Schnittgrößen (z. B. Biegemomente) und Verformungen durch geeignete Faktoren vergrößert werden.

(12)B Einflüsse aus Theorie II. Ordnung auf die seitliche Verformung einstöckiger Tragwerke aufgrund vertikaler Lasten dürfen nach der Theorie I. Ordnung berechnet werden, durch Vergrößerung der horizontalen Einwirkungen H_{Ed} (z. B. horizontale Einwirkung von Wind) und der horizontalen Ersatzlasten $F_d \phi$ infolge Imperfektionen, siehe 7.3.2(5), sowie weiterer möglicher Schiefstellung erfasst werden, wobei der Faktor k_{sw} :

$$k_{sw} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr,sw}}} \quad (7.6)$$

vorausgesetzt, dass $\alpha_{cr,sw} \geq 3,0$.

Dabei ist

$\alpha_{cr,sw}$ nach 7.2.1(10)B, Gleichung (7.3) zu berechnen, wenn die Dachneigung gering ist und die Druckkraft in den Trägern oder Riegeln vernachlässigt werden darf, siehe 7.2.1(11)B.

ANMERKUNG Für $\alpha_{cr,sw} < 3,0$ ist eine genauere Berechnung nach Theorie II. Ordnung erforderlich.

(13)B Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken dürfen Einflüsse aus der Theorie II. Ordnung auf die seitliche Verformung mit dem Verfahren nach 7.2.2(12)B erfasst werden, wenn alle Stockwerke eine ähnliche Verteilung:

- der vertikalen Einwirkungen; und
- der horizontalen Einwirkungen; und
- der Rahmensteifigkeiten im Hinblick auf die Verteilung der Stockwerksschubkräfte haben.

ANMERKUNG Zur Einschränkung des Verfahrens siehe 7.2.2(12)B.

7.3 Imperfektionen

7.3.1 Grundlagen

(1) Bei der Tragwerksberechnung sollten geeignete Ansätze gewählt werden, um die Wirkungen von Imperfektionen zu erfassen; diese berücksichtigen insbesondere Eigenspannungen und geometrische Imperfektionen wie Schiefstellung und Abweichungen von der Geradheit, Ebenheit und Passung sowie Exzentrizitäten, die größer als die grundlegenden Toleranzen nach EN 1090-2 sind, die in den Verbindungen des unbelasteten Tragwerks auftreten.

(2) In den Berechnungen sollten äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen verwendet werden, deren Werte die möglichen Wirkungen aller Imperfektionen abdecken, es sei denn, diese Wirkungen werden in den Gleichungen für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen indirekt erfasst, siehe 7.3.3.

(3) Die anzunehmende Form der Schiefstellungen und Vorkrümmungen eines Tragwerks darf aus den Formen der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden.

(4) Knicken, sowohl in als auch aus der Ebene, einschließlich Drillknicken mit symmetrischen und antisymmetrischen Knickfiguren sollte in der ungünstigsten Richtung und Form berücksichtigt werden.

(5) Folgende Imperfektionen sollten als maßgebend angesetzt werden:

- Schiefstellungen für die Tragwerksberechnung (siehe 7.3.2 und 7.3.4);
- Vorverkrümmungen für die Tragwerks- und Bauteilberechnung (siehe 7.3.3 und 7.3.4);
- Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme (siehe 7.3.5);
- Imperfektionen auf Grundlage der maßgebenden Eigenfiguren (siehe 7.3.6).

7.3.2 Schiefstellungen für die Tragwerksberechnung

(1) Bei Tragwerken, deren Eigenform durch eine seitliche Verschiebung (siehe 7.2.1(5)) charakterisiert ist, sollten die Einflüsse der Imperfektionen bei der Berechnung durch eine äquivalente Ersatzvorverformung in Form einer Anfangsschiefstellung des Tragwerks ϕ (siehe Bild 7.4) berücksichtigt werden.

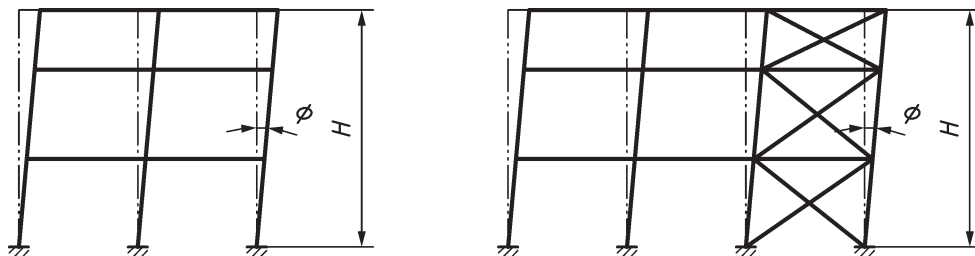


Bild 7.4 — Anfangsschiefstellungen

(2) Die Anfangsschiefstellung ϕ darf mit Gleichung (7.7) ermittelt werden:

$$\phi = \phi_0 \alpha_H \alpha_m \quad (7.7)$$

Dabei ist

ϕ_0 der Ausgangswert:

$\phi_0 = 1/400$ für den Nachweis nach Elastizitätstheorie für Querschnitte und Bauteile;

$\phi_0 = 1/200$ für den Nachweis nach Plastizitätstheorie für Querschnitte und Bauteile;

α_H der Abminderungsfaktor für die Höhe H von Stützen:

$$\alpha_H = \frac{2}{\sqrt{H}} \quad \text{jedoch} \quad \alpha_H \leq 1,0$$

H die Höhe des Tragwerks, in m;

α_m der Abminderungsfaktor für die Anzahl der Stützen in einer Reihe: $\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$;

m die Anzahl der Stützen in einer Reihe, unter ausschließlicher Betrachtung der Stützen, die eine Vertikalbelastung größer 50 % der durchschnittlichen Stützenlast in der betrachteten vertikalen Richtung übernehmen.

(3) Diese Anfangsschiefstellung ϕ sollte jeweils in allen maßgebenden horizontalen Richtungen untersucht werden, braucht aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden.

(4)B Für Hochbauten dürfen Anfangsschiefstellungen vernachlässigt werden, wenn

$$H_{Ed} \geq 0,15 F_{Ed} \quad (7.8)$$

Dabei ist

H_{Ed} der Bemessungswert der gesamten horizontalen Last;

F_d der Bemessungswert der gesamten vertikalen Last.

(5) Die Wirkungen der Schiefstellungen dürfen durch Systeme äquivalenter horizontaler Ersatzlasten an jeder Stütze ersetzt werden, siehe Bild 7.5.

(6)B Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken mit Trägern und Stützen sollten die äquivalenten Ersatzkräfte für jedes Stockwerk und das Dach angesetzt werden.

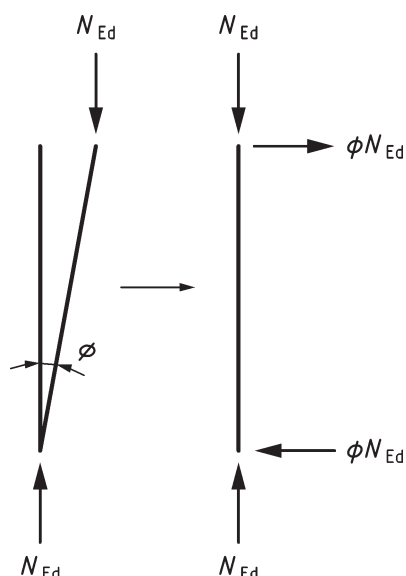


Bild 7.5 — Ersatz der Anfangsschiefstellung durch äquivalente horizontale Ersatzlasten

7.3.3 Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilberechnung

7.3.3.1 Biegeknicken

(1) Die äquivalente Vorkrümmung e_0 von Bauteilen für das Biegeknicken darf nach Gleichung (7.9) bestimmt werden.

$$e_0 = \frac{\alpha}{\varepsilon} \beta L \quad (7.9)$$

Dabei ist

L die Bauteillänge;

α der Imperfektionsbeiwert in Abhängigkeit der zutreffenden Knicklinie nach Tabelle 8.2;

ε der Materialparameter nach 5.2.5(2);

β der Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung nach Tabelle 7.1.

Tabelle 7.1 — Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung β

Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Querschnittsnachweis nach der Elastizitätstheorie	Querschnittsnachweis nach der Plastizitätstheorie
y-y	1/110	1/75
z-z	1/200	1/68

ANMERKUNG Die Werte für e_0 werden mit Gleichung (7.9) berechnet, sofern der Nationale keine anderen Werte festlegt.

(2) Wenn der Nachweis des Bauteils unter Berücksichtigung der plastischen Querschnittstragfähigkeit erfolgt:

- Für Biegeknicken um die y-y-Achse von I- oder H-Querschnitten sollte die lineare plastische Interaktion entsprechend 8.2.1(7) angewendet werden. Dies gilt auch für runde und rechteckige Hohlquerschnitte;
- Für Biegeknicken um die z-z-Achse von I- oder H-Querschnitten darf die maßgebende plastische Interaktion nach 8.2.9 angewendet werden, wobei der Bemessungswert der plastischen Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ auf $1,25 M_{el,Rd}$ begrenzt werden sollte.

(3) Die Wirkungen der äquivalenten Vorkrümmung dürfen durch Systeme äquivalenter horizontaler Ersatzlasten an jedem Bauteil ersetzt werden, siehe Bild 7.6.

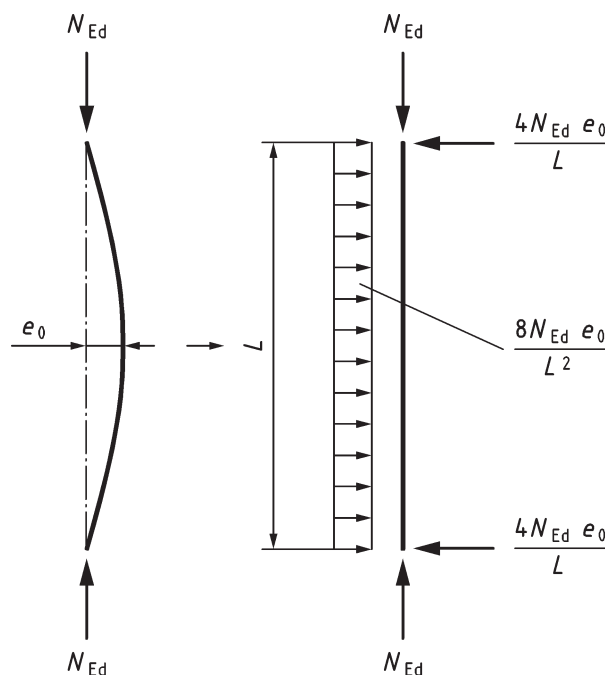


Bild 7.6 — Ersatz der äquivalenten Vorkrümmung durch äquivalente horizontale Ersatzlasten

(4) Für die Bemessung von mehrteiligen Bauteilen mit konstantem Querschnitt nach 8.4 sollte die Amplitude e_0 der äquivalenten Vorkrümmung nach Gleichung (7.10) bestimmt werden:

$$e_0 = \frac{L}{500} \quad (7.10)$$

Dabei ist

L die Länge des mehrteiligen Bauteils.

7.3.3.2 Biegedrillknicken

(1) Für eine Schnittgrößenberechnung nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung des Biegedrillknickens biegebeanspruchter Bauteile darf die äquivalente Vorkrümmung nach Gleichung (7.11) bestimmt werden, wobei $e_{0,LT}$ die äquivalente Vorkrümmung für Biegeknicken um die schwache Achse des betrachteten Profils ist. Im Allgemeinen braucht keine weitere Torsionsimperfektion betrachtet zu werden.

$$e_{0,LT} = \beta_{LT} \frac{L}{\varepsilon} \quad (7.11)$$

Dabei ist

L die Bauteillänge;

ε der Materialparameter nach 5.2.5(2);

β_{LT} der Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung für Biegedrillknicken nach Tabelle 7.2.

Tabelle 7.2 — Referenzwert der bezogenen Vorkrümmung β_{LT} für Biegedrillknicken

Querschnitt	Abmessung	Querschnittsnachweis nach der Elastizitätstheorie	Querschnittsnachweis nach der Plastizitätstheorie
gewalzt	$h/b \leq 2,0$	1/250	1/200
	$h/b > 2,0$	1/200	1/150
geschweißt	$h/b \leq 2,0$	1/200	1/150
	$h/b > 2,0$	1/150	1/100

ANMERKUNG Die Werte für $e_{0,LT}$ werden mit Gleichung (7.11) berechnet, sofern der Nationale Anhang keine anderen Werte festlegt.

7.3.4 Überlagerung von Anfangsschiefstellung und Stabvorkrümmung für die globale Tragwerksberechnung

(1) Für die Berechnung der Schnittgrößen an Enden von Bauteilen für den Bauteilnachweis nach 8.3 dürfen Stabvorkrümmungen vernachlässigt werden. Bei Tragwerken, die empfindlich auf Einflüsse nach Theorie II. Ordnung reagieren, sollten für jedes Bauteil mit Druckbeanspruchungen zusätzlich zur globalen Anfangsschiefstellung (siehe 7.2.2(3)) Stabvorkrümmungen für jeden druckbeanspruchten Stab angesetzt werden, für den folgende Bedingungen gelten:

— mindestens ein Bauteilende ist eingespannt bzw. biegesteif verbunden;

— $N_{Ed} > 0,25 N_{cr}$. (7.12)

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck); und

N_{cr} die ideale Verzweigungslast für Biegeknicken des Bauteils in der Ebene unter der Annahme von Gelenken an den Bauteilenden.

ANMERKUNG Lokale Stabvorkrümmungen sind bereits in den Gleichungen für die Bauteilnachweise berücksichtigt, siehe 7.2.2(2).

7.3.5 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme

7.3.5.1 Horizontal aussteifendes System

(1) Bei der Berechnung aussteifender Systeme, die zur seitlichen Stabilisierung von Trägern oder druckbeanspruchter Bauteile benötigt werden, sollte der Einfluss der Imperfektionen der auszusteifenden Bauteile durch äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen in Form von Vorkrümmungen berücksichtigt werden, berechnet nach Gleichung (7.13):

$$e_0 = \alpha_m L / 500 \quad (7.13)$$

Dabei ist

L die Spannweite des aussteifenden Systems

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m} \right)}$$

wobei m die Anzahl der auszusteifenden Bauteile ist.

(2) Der Einfluss der Vorkrümmung der durch das aussteifende System stabilisierten Bauteile darf durch eine äquivalente Ersatzlast q_d nach Bild 7.7 ersetzt werden, berechnet nach Gleichung (7.14):

$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad (7.14)$$

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck);

δ_q die Durchbiegung des Aussteifungssystems in der Ebene aufgrund q_d zuzüglich jeglicher äußeren Kräfte die nach Theorie I. Ordnung bestimmt wurden. δ_q darf mit 0 angesetzt werden, wenn eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung durchgeführt wird.

(3) Wird das aussteifende System zur Stabilisierung des druckbeanspruchten Flansches eines Trägers mit konstanter Höhe eingesetzt, darf die Kraft N_{Ed} in Bild 7.7 mit Gleichung (7.15) bestimmt werden:

$$N_{Ed} = M_{Ed} / h \quad (7.15)$$

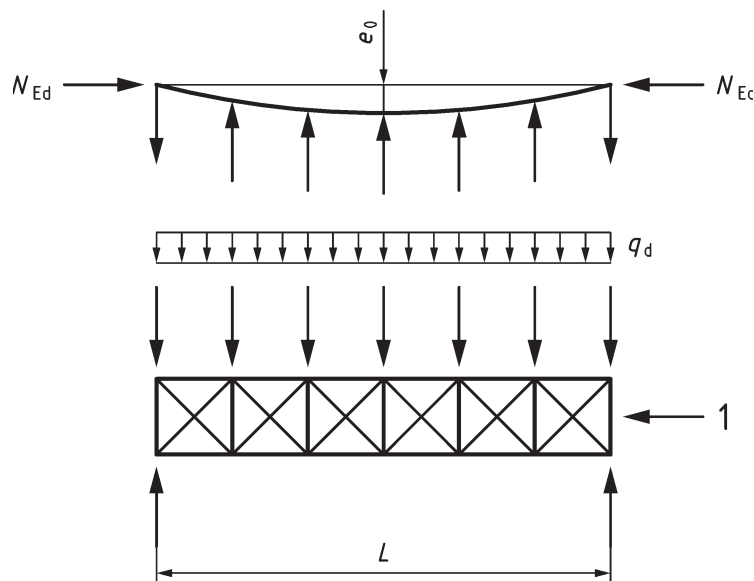
Dabei ist

M_{Ed} das maximale einwirkende Biegemoment des Trägers;

h die Gesamthöhe des Trägers.

(4) Im Falle eines durch eine zusätzliche Drucknormalkraft beanspruchten Trägers sollte N_{Ed} in Gleichung (7.15) auch einen geeigneten Teil der Beanspruchung aus der einwirkenden Normalkraft enthalten.

ANMERKUNG Die Kraft N_{Ed} wird innerhalb der Spannweite L des aussteifenden Systems als konstant angenommen. Für nicht konstante Kräfte ist die Annahme leicht konservativ.



Legende

1 aussteifendes System

Bild 7.7 — Äquivalente Lasteinwirkung auf das aussteifende System

7.3.5.2 Vertikale Aussteifungen

(1)B Für die Bestimmung der horizontalen Kräfte auf aussteifende Deckenscheiben sollten die Imperfektionen eingeschlossen werden. Die Anordnung der Imperfektionen nach Bild 7.8 darf angewendet werden, dabei wird ϕ nach Gleichung (7.16), unter Annahme einer Stockwerkshöhe H_{st} , bestimmt.

$$\phi = \alpha_m \alpha_H \phi_0 \quad (7.16)$$

Dabei ist

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

α_m der Abminderungsfaktor nach 7.3.2(2), entsprechend der Anzahl m der stabilisierenden Bauteile;

α_H der Abminderungsfaktor nach 7.3.2(2), dabei sollte die Höhe H gleich der Stockwerkshöhe H_{st} angesetzt werden.

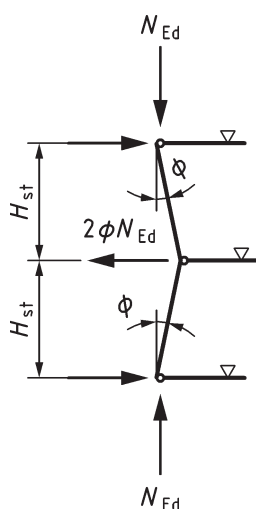


Bild 7.8 — Anordnung der Imperfektionen ϕ für Horizontalkräfte auf aussteifende Deckenscheiben

(2) An Stößen von Trägern oder von druckbeanspruchten Bauteilen sollte zusätzlich nachgewiesen werden, dass das aussteifende System eine am Stoßpunkt angreifende lokale Kraft Q_m nach Gleichung (7.17) von jedem Träger oder druckbeanspruchten Bauteil aufnehmen kann, welcher am gleichen Punkt gestoßen ist; die Weiterleitung dieser Kräfte zu den nächsten Haltepunkten der druckbeanspruchten Bauteile ist ebenfalls nachzuweisen.

$$Q_m = \alpha_m \frac{N_{Ed}}{100} \quad (7.17)$$

Dabei ist

α_m der Abminderungsfaktor nach 7.3.2(2), entsprechend der Anzahl m der stabilisierenden Bauteile;

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Drucknormalkraft auf das stabilisierende Bauteil;

7.3.6 Imperfektionen auf der Grundlage von Knickbiegelinien nach der Elastizitätstheorie

(1) Alternativ zu 7.3.2 und 7.3.3.1 darf die Form der Knickbiegeline nach der Elastizitätstheorie $\eta_{cr}(x)$ für das Gesamttragwerk oder für das nachzuweisende Bauteil als Imperfektionsfigur angesetzt werden. Die äquivalente geometrische Ersatzimperfektion $\eta_{init}(x)$ darf durch Gleichung (7.18) bestimmt werden:

$$\eta_{init}(x) = e_{0,m} \cdot \frac{N_{cr,m}}{EI_m \cdot |\eta_{cr}''|} \cdot \eta_{cr}(x) \quad (7.18)$$

Dabei ist

$$e_{0,m} = \alpha_m \cdot (\bar{\lambda}_m - 0,2) \cdot \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}} \quad \text{für } \bar{\lambda}_m > 0,2 \quad (7.19)$$

m

m Index, der den maßgebenden Querschnitt des Gesamttragwerks oder des nachzuweisenden Bauteils bezeichnet (siehe Anmerkung 4). Der Index m gibt die Zugehörigkeit zum maßgebenden Querschnitt an;

$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{Rk,m}}{N_{cr,m}}}$ der bezogene Schlankheitsgrad des Bauteils, berechnet für den maßgebenden Querschnitt m ;

α_m der Imperfektionsbeiwert der zutreffenden Knicklinie, siehe Tabelle 8.2 und Tabelle 8.3;

χ_m der Abminderungsfaktor der zutreffenden Knicklinie des nachzuweisenden Bauteils, abhängig vom bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_m$, siehe 8.3.1.3;

$N_{cr,m} = \alpha_{cr} N_{Ed,m}$ der Wert der kritischen Normalkraft im Querschnitt m und auch die kritische Normalkraft des Ersatzstabs;

α_{cr} der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte N_{Ed} der Bauteile, um die ideale Verzweigungslast des Tragwerks zu erreichen;

$M_{Rk,m}$ die charakteristische Momententragfähigkeit des maßgebenden Querschnitts m , z. B. $M_{el,Rk,m}$ oder $M_{pl,Rk,m}$;

$N_{Rk,m}$ die charakteristische Normalkrafttragfähigkeit des maßgebenden Querschnitts;

$EI_m \cdot |\eta_{cr}''|$ der Maximalwert des Biegemoments infolge $\eta_{cr,m}$ am maßgebenden Querschnitt m ;

$\eta_{cr}(x)$ die Form der maßgebenden Knickbiegeline nach der Elastizitätstheorie (erster oder höherer Ordnung).

ANMERKUNG 1 Die Imperfektion $\eta_{\text{init}}(x)$ in der Form der Knickbiegeline nach der Elastizitätstheorie kann generell für alle Bauteile unter Druckbeanspruchung und für Gesamttragwerke, die in der Ebene knicken, angewendet werden. Diese ist besonders geeignet für Bauteile mit über die Länge nicht konstanten Querschnittseigenschaften und/oder Normalkräften und für Tragwerke, die solche Bauteile enthalten.

ANMERKUNG 2 Für die Berechnung des Vergrößerungsfaktors α_{cr} kann davon ausgegangen werden, dass die Bauteile des Tragwerks ausschließlich durch Normalkräfte N_{Ed} beansprucht werden; N_{Ed} sind dabei die nach Theorie I. Ordnung berechneten Normalkräfte für den betrachteten Lastfall. Biegemomente können vernachlässigt werden.

ANMERKUNG 3 Der maßgebende Querschnitt m ist der Querschnitt mit dem höchsten Ausnutzungsgrad bezüglich der Wirkung der Normalkräfte und der Biegemomente auf Grund von Imperfektionen. Bei stark unregelmäßigen Bauteilen könnte es erforderlich sein, die Lage des maßgebenden Querschnitts m mit einem iterativen Verfahren zu bestimmen.

(2) Der Ausdruck $EI_m \cdot |\eta''_{\text{cr},m}|$ in Gleichung (7.18) darf ersetzt werden durch $|M_{\eta,\text{cr},m}^{\text{II}}|(\alpha_{\text{cr}} - 1)$.

Dabei ist

$M_{\eta,\text{cr},m}^{\text{II}}$ das Biegemoment im Querschnitt m , unter Anwendung einer Theorie II. Ordnung des Tragwerks berechnet, mit Imperfektion in Form der maßgebenden Eigenform η_{cr} .

(3) Wenn die globale Tragwerksberechnung unter Verwendung der in (1) definierten Imperfektionen durchgeführt wird, sollten die Querschnitte mit dem in 8.2.1(7) genannten Nachweis geführt werden. Wenn der Nachweis unter Berücksichtigung von Widerständen nach der Plastizitätstheorie geführt wird, sollte der Bemessungswert der Momententragfähigkeit $M_{\text{c,Rd}}$ auf $1,25 M_{\text{el,Rd}}$ begrenzt werden. Dies gilt sowohl für die starke als auch die schwache Achse.

7.4 Berechnungsverfahren

7.4.1 Allgemeines

(1) Die Schnittgrößen dürfen nach einem der beiden folgenden Verfahren ermittelt werden:

- a) Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie (siehe 7.4.2); oder
- b) Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie (siehe 7.4.3).

ANMERKUNG Zu Finite Element (FEM)-Berechnungen siehe EN 1993-1-14.

(2) Die Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie darf in allen Fällen angewendet werden.

(3) Eine Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie darf für Tragwerke mit Bauteilen aus Stahlgüten bis S460 durchgeführt werden und wenn das Tragwerk über ausreichende Rotationskapazität an den Stellen verfügt, an denen sich die Fließgelenke bilden, sei es in Bauteilen oder in Anschlüssen.

- a) An den Fließgelenkstellen in Bauteilen sollte der Bauteilquerschnitt doppelt-symmetrisch oder einfach-symmetrisch mit einer Symmetrieebene in der Rotationsebene des Fließgelenkes sein und zusätzlich den in 7.6 festgelegten Anforderungen entsprechen.
- b) Tritt ein Fließgelenk an einem Anschluss auf, sollte der Anschluss entweder ausreichende Festigkeit haben, damit sich das Fließgelenk im Bauteil bildet, oder er sollte seine plastische Festigkeit über eine ausreichende Rotation beibehalten können, siehe EN 1993-1-8.

ANMERKUNG Regelungen für die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie unter Annahme von Fließgelenken können für Stahlgüten höher als S460 durch den Nationalen Anhang festgelegt werden. In diesem Fall können die relevanten Regelungen wie in 7.4.3 und 8.2.3 entsprechend geändert werden.

(4)B Vereinfachend darf bei nach Elastizitätstheorie berechneten Durchlaufträgern eine begrenzte plastische Momentenumlagerung berücksichtigt werden, wenn die Stützmomente die plastische Momententragfähigkeit um weniger als 15 % überschreiten. Die überschreitenden Momentenspitzen dürfen dann im Bauteil umgelagert werden, vorausgesetzt dass:

- a) die Schnittgrößen des Tragwerks mit den äußeren Einwirkungen im Gleichgewicht stehen;
- b) alle Bauteile, bei denen die Momente abgemindert werden, aus Stahlgüten bis S460 bestehen und Querschnitte der Klasse 1 oder 2 (siehe 7.5) aufweisen; und
- c) Biegedrillknicken verhindert ist, siehe 8.3.5.

7.4.2 Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie

(1) Bei einer Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie sollte davon ausgegangen werden, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehung des Materials in jedem Spannungszustand linear verläuft.

ANMERKUNG Bei der Wahl des Modells für verformbare Anschlüsse siehe 7.1.2.

(2) Schnittgrößen dürfen mit elastischen Berechnungsverfahren ermittelt werden, auch wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeiten plastisch ermittelt sind, siehe 8.2.

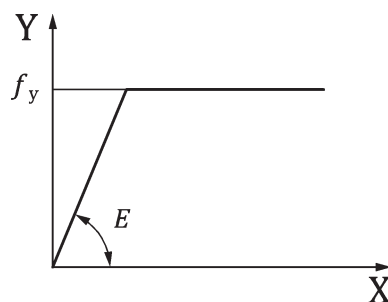
7.4.3 Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie

(1) Die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie berücksichtigt die Einflüsse aus nicht-linearem Werkstoffverhalten bei der Ermittlung der Schnittgrößen. Die Tragwerksberechnung sollte nach einem der beiden Verfahren erfolgen, abhängig von den in (4) bis (8) angegebenen Bedingungen:

- a) Fließgelenkverfahren: das nicht-lineare Materialverhalten konzentriert sich auf voll plastizierte Querschnitte in den Fließgelenken und/oder Anschlüssen, die als Fließgelenke wirken;
- b) Fließzonenverfahren: die Teilplastizierung von Bauteilen in Fließzonen wird explizit berücksichtigt.

(2) Eine Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie darf durchgeführt werden, wenn genügend seitliche Lagerungen in dem Bereich von Querschnitten vorgesehen sind, wo sich unter den Bemessungslasten ein Fließgelenk oder eine Fließzone entwickeln kann, siehe 8.3.5.

(3) Für Stahlgüten bis S460 darf die bi-lineare Spannungs-Dehnungsbeziehung nach Bild 7.9 verwendet werden.



Legende

- X Dehnung;
- Y Spannung;

Bild 7.9 — Bi-lineare Spannungs-Dehnungsbeziehung

(4) Falls die Tragwerksberechnung unter Berücksichtigung von Fließgelenken erfolgt, siehe (1) a):

- so dürfen nur Stahlgüten bis S460 (einschließlich) und Stähle, die die Bedingungen in 5.2.2 a) erfüllen, verwendet werden;
- eine Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie darf nur durchgeführt werden, wenn die Bauteile (oder Anschlüsse) in der Lage sind, genügende Rotationskapazitäten zu entwickeln, um die erforderliche Momentenumlagerung durchzuführen, siehe 7.5 und 7.6.

ANMERKUNG Für höhere Stahlsorten als S460, siehe (7) und (8).

(5) Falls die Tragwerksberechnung unter Berücksichtigung von Fließgelenken erfolgt und die Einflüsse der Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden können (siehe 7.2.1(4) und 7.2.1(5)), darf das starr-plastische Fließgelenkverfahren mit Vernachlässigung des elastischen Verhaltens zwischen den Gelenken angewendet werden. In diesem Falle werden die Anschlüsse nur nach ihrer Festigkeit klassifiziert, siehe EN 1993-1-8.

(6) Falls die Tragwerksberechnung unter Berücksichtigung von Fließgelenken erfolgt und die Einflüsse der Theorie II. Ordnung berücksichtigt werden müssen, ist eine elastisch-plastische Tragwerksberechnung erforderlich. Die Einflüsse des verformten Systems und die Stabilität des Tragwerks sollten nach den Grundsätzen in 7.2 nachgewiesen werden.

(7) Für die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie sollten die Bedingungen (7.1) und (7.2) für das System vor der Ausbildung des letzten Fließgelenkes geprüft werden oder es sollte für jedes einzelne Teilsystem entlang der Bildung der Fließgelenkkette bis zum Erreichen der Bemessungslasten geprüft werden, ob die Bedingungen erfüllt sind.

ANMERKUNG Die maximale Tragfähigkeit kann bei verformungsempfindlichen Tragwerken bereits erreicht werden, bevor sich die vollständige Fließgelenkkette nach Theorie I. Ordnung gebildet hat.

(8) Werden Stahlgüten höher als S460 verwendet, sollte die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie Teilplastizierungen in Fließzonen nach dem Verfahren in (1) b) berücksichtigen.

(9) Falls die Tragwerksberechnung unter Berücksichtigung von Teilplastizierungen in Fließzonen erfolgt, siehe (1) b):

- Regelungen für die Tragwerksberechnung mit der Finite Elemente Methode sind EN 1993-1-14 zu entnehmen;
- Stahlgüten höher als S460 dürfen unter der Voraussetzung genutzt werden, dass Spannungs-Dehnungs-Kurven mit Dehnungsbegrenzung berücksichtigt werden und, falls notwendig, auch die Einflüsse von lokalen Beulimperfektionen nach EN 1993-1-14, berücksichtigt werden.

(10) Im Falle von Werkstoff-Nichtlinearitäten dürfen die Schnittgrößen eines Tragwerks auf Grundlage der Bemessungslasten für jede relevante Bemessungssituation inkrementell bestimmt werden. Bei dieser inkrementellen Annäherung sollten alle ständigen oder nicht-ständigen Lasten proportional erhöht werden.

7.5 Klassifizierung von Querschnitten

7.5.1 Grundlagen

(1) Querschnitte sollten durch das Ausmaß klassifiziert werden, indem ihre Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch ihre lokale Biegeknicktragfähigkeit begrenzt wird.