

**DIN EN 1993-1-1**

ICS 91.010.30; 91.080.10

Ersatzvermerk  
siehe unten

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau;  
Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009**

Eurocode 3: Design of steel structures –  
Part 1-1: General rules and rules for buildings;  
German version EN 1993-1-1:2005 + AC:2009

Eurocode 3: Calcul des structures en acier –  
Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments;  
Version allemande EN 1993-1-1:2005 + AC:2009

**Ersatzvermerk**

Ersatz für DIN EN 1993-1-1:2010-08;  
mit DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12, DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12,  
DIN EN 1993-1-5:2010-12, DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12,  
DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-9:2010-12, DIN EN 1993-1-9/NA:2010-12,  
DIN EN 1993-1-10:2010-12, DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-11:2010-12 und  
DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-1:2008-11;  
mit DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-3:2010-12, DIN EN 1993-1-3/NA:2010-12,  
DIN EN 1993-1-5:2010-12 und DIN EN 1993-1-5/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18800-2:2008-11;  
mit DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12, DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12,  
DIN EN 1993-1-11:2010-12 und DIN EN 1993-1-11/NA:2010-12 Ersatz für DIN 18801:1983-09;  
mit DIN EN 1993-1-1/NA:2010-12, DIN EN 1993-1-8:2010-12 und DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12 Ersatz für  
DIN 18808:1984-10

Gesamtumfang 107 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1993-1-1:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird.

Die Arbeiten auf nationaler Ebene wurden durch die Experten des NABau-Spiegelausschusses NA 005-08-16 AA „Tragwerksbemessung (Sp CEN/TC 250/SC 3)“ begleitet.

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. April 2005 angenommen.

Die Norm ist Bestandteil einer Reihe von Einwirkungs- und Bemessungsnormen, deren Anwendung nur im Paket sinnvoll ist. Dieser Tatsache wird durch das Leitpapier L der Kommission der Europäischen Gemeinschaft für die Anwendung der Eurocodes Rechnung getragen, indem Übergangsfristen für die verbindliche Umsetzung der Eurocodes in den Mitgliedstaaten vorgesehen sind. Die Übergangsfristen sind im Vorwort dieser Norm angegeben.

Die Anwendung dieser Norm gilt in Deutschland in Verbindung mit dem Nationalen Anhang.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Beginn und das Ende des hinzugefügten oder geänderten Textes wird im Text durch die Textmarkierungen   angezeigt.

### **Änderungen**

Gegenüber DIN V ENV 1993-1-1:1993-04, DIN V ENV 1993-1-1/A1:2002-05 und DIN V ENV 1993-1-1/A2:2002-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vornorm-Charakter wurde aufgehoben;
- b) in Teil 1-1, Teil 1-8, Teil 1-9 und Teil 1-10 aufgeteilt;
- c) die Stellungnahmen der nationalen Normungsinstitute wurden eingearbeitet und der Text vollständig überarbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-1-1:2005-07 und DIN EN 1993-1-1 Berichtigung 1:2006-05 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

- a) die europäische Berichtigung EN 1993-1-1:2005/AC:2009 und die Berichtigung 1:2006-05 wurden eingearbeitet.

Gegenüber DIN EN 1993-1-1:2010-08, DIN 18800-1:2008-11, DIN 18800-2:2008-11, DIN 18801:1983-09 und DIN 18808:1984-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) auf europäisches Bemessungskonzept umgestellt;
- b) Ersatzvermerke korrigiert;
- c) Vorgänger-Norm mit der europäischen Berichtigung EN 1993-1-1/AC:2009 konsolidiert;
- d) redaktionelle Änderungen durchgeführt.

### Frühere Ausgaben

DIN 1050: 1934-08, 1937xxxx-07, 1946-10, 1957x-12, 1968-06  
DIN 1073: 1928-04, 1931-09, 1941-01, 1974-07  
DIN 1079: 1938-01, 1938-11, 1970-09  
DIN 4100: 1931-05, 1933-07, 1934xxxx-08, 1956-12, 1968-12  
DIN 4101: 1937xxx-07, 1974-07  
Beiblatt zu DIN 1073: 1974-07  
DIN 18800-1: 1981-03, 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-1/A1: 1996-02  
DIN 4114-1: 1952xx-07  
DIN 4114-2: 1952-07, 1953-02  
DIN 18800-2: 1990-11, 2008-11  
DIN 18800-2/A1: 1996-02  
DIN 18801: 1983-09  
DIN 18808: 1984-10  
DIN V ENV 1993-1-1: 1993-04  
DIN V ENV 1993-1-1/A1: 2002-05  
DIN V ENV 1993-1-1/A2: 2002-05  
DIN EN 1993-1-1: 2005-07  
DIN EN 1993-1-1 Berichtigung 1: 2006-05

— Leerseite —

**Deutsche Fassung**

**Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten —  
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und  
Regeln für den Hochbau**

Eurocode 3: Design of steel structures —  
Part 1-1: General rules and rules for buildings

Eurocode 3: Calcul des structures en acier —  
Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. April 2004 angenommen.

Die Berichtigung tritt am 15. April 2009 in Kraft und wurde in EN 1993-1-1:2005 eingearbeitet.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

**Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel**

# Inhalt

	Seite
Vorwort .....	4
Hintergrund des Eurocode-Programms .....	4
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes .....	5
Nationale Fassungen der Eurocodes .....	6
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG) .....	6
Besondere Hinweise zu EN 1993-1 .....	6
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1 .....	7
<b>1 Allgemeines .....</b>	<b>8</b>
1.1 Anwendungsbereich .....	8
1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3 .....	8
1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1 .....	9
1.2 Normative Verweisungen .....	10
1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen .....	10
1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustähle .....	10
1.3 Annahmen .....	10
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln .....	10
1.5 Begriffe .....	10
1.6 Formelzeichen .....	11
1.7 Definition der Bauteilachsen .....	20
<b>2 Grundlagen für die Tragwerksplanung .....</b>	<b>23</b>
2.1 Anforderungen .....	23
2.1.1 Grundlegende Anforderungen .....	23
2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit .....	23
2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit .....	23
2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen .....	24
2.3 Basisvariable .....	24
2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse .....	24
2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften .....	24
2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten .....	25
2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften .....	25
2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen .....	25
2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit .....	25
2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU) .....	25
2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen .....	25
<b>3 Werkstoffe .....</b>	<b>26</b>
3.1 Allgemeines .....	26
3.2 Baustahl .....	26
3.2.1 Werkstoffeigenschaften .....	26
3.2.2 Anforderungen an die Duktilität .....	26
3.2.3 Bruchzähigkeit .....	27
3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung .....	29
3.2.5 Toleranzen .....	29
3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten .....	29
3.3 Verbindungsmittel .....	30
3.3.1 Schrauben, Bolzen, Nieten .....	30
3.3.2 Schweißwerkstoffe .....	30
3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau .....	30
<b>4 Dauerhaftigkeit .....</b>	<b>30</b>
<b>5 Tragwerksberechnung .....</b>	<b>30</b>
5.1 Statische Systeme .....	30
5.1.1 Grundlegende Annahmen .....	30

	Seite	
5.1.2	Berechnungsmodelle für Anschlüsse.....	31
5.1.3	Bauwerks-Boden-Interaktion .....	31
5.2	Untersuchung von Gesamttragwerken .....	31
5.2.1	Einflüsse der Tragwerksverformung .....	31
5.2.2	Stabilität von Tragwerken.....	33
5.3	Imperfektionen.....	35
5.3.1	Grundlagen .....	35
5.3.2	Imperfektionen für die Tragwerksberechnung .....	35
5.3.3	Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme.....	40
5.3.4	Bauteilimperfektionen.....	42
5.4	Berechnungsmethoden .....	42
5.4.1	Allgemeines .....	42
5.4.2	Elastische Tragwerksberechnung .....	43
5.4.3	Plastische Tragwerksberechnung .....	43
5.5	Klassifizierung von Querschnitten .....	44
5.5.1	Grundlagen .....	44
5.5.2	Klassifizierung .....	44
5.6	Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung.....	45
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit .....	48
6.1	Allgemeines .....	48
6.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten .....	49
6.2.1	Allgemeines .....	49
6.2.2	Querschnittswerte .....	50
6.2.3	Zugbeanspruchung .....	53
6.2.4	Druckbeanspruchung .....	53
6.2.5	Biegebeanspruchung .....	54
6.2.6	Querkraftbeanspruchung .....	55
6.2.7	Torsionsbeanspruchung .....	57
6.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft .....	58
6.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft .....	59
6.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft .....	62
6.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile .....	62
6.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck .....	62
6.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse .....	66
6.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile.....	71
6.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile .....	73
6.3.5	Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken .....	74
6.4	Mehrteilige Bauteile.....	76
6.4.1	Allgemeines .....	76
6.4.2	Gitterstützen .....	78
6.4.3	Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen) .....	80
6.4.4	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung .....	82
7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit .....	83
7.1	Allgemeines .....	83
7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau .....	84
7.2.1	Vertikale Durchbiegung .....	84
7.2.2	Horizontale Verformungen .....	84
7.2.3	Dynamische Einflüsse .....	84
<b>Anhang A (informativ) Verfahren 1: Interaktionsbeiwerte <math>k_{ij}</math> für die Interaktionsformel in 6.3.3 (4).....</b>		<b>85</b>
<b>Anhang B (informativ) Verfahren 2: Interaktionsbeiwerte <math>k_{ij}</math> für die Interaktionsformel in 6.3.3 (4).....</b>		<b>88</b>
<b>Anhang AB (informativ) Zusätzliche Bemessungsregeln.....</b>		<b>90</b>
<b>Anhang BB (informativ) Knicken von Bauteilen in Tragwerken des Hochbaus.....</b>		<b>91</b>

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN 1993-1-1:2005 + AC:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Structural Eurocodes“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis November 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2010 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt ENV 1993-1-1:1992.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## **Hintergrund des Eurocode-Programms**

1975 beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, für das Bauwesen ein Programm auf der Grundlage des Artikels 95 der Römischen Verträge durchzuführen. Das Ziel des Programms war die Beseitigung technischer Handelshemmnisse und die Harmonisierung technischer Normen.

Im Rahmen dieses Programms leitete die Kommission die Bearbeitung von harmonisierten technischen Regelwerken für die Tragwerksplanung von Bauwerken ein, die im ersten Schritt als Alternative zu den in den Mitgliedsländern geltenden Regeln dienen und sie schließlich ersetzen sollten.

15 Jahre lang leitete die Kommission mit Hilfe eines Steuerkomitees mit Repräsentanten der Mitgliedsländer die Entwicklung des Eurocode-Programms, das zu der ersten Eurocode-Generation in den 80'er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eurocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung<sup>1)</sup> zwischen der Kommission und CEN. Dieser Schritt verknüpft die Eurocodes de facto mit den Regelungen der Ratsrichtlinien und Kommissionsentscheidungen, die die Europäischen Normen behandeln (z. B. die Ratsrichtlinie 89/106/EWG zu Bauprodukten, die Bauproduktenrichtlinie, die Ratsrichtlinien 93/37/EWG, 92/50/EWG und 89/440/EWG zur Vergabe öffentlicher Aufträge und Dienstleistungen und die entsprechenden EFTA-Richtlinien, die zur Einrichtung des Binnenmarktes eingeleitet wurden).

Das Eurocode-Programm umfasst die folgenden Normen, die in der Regel aus mehreren Teilen bestehen:

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*;

EN 1991, *Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke*;

EN 1992, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbetonbauten*;

EN 1993, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*;

---

1) Vereinbarung zwischen der Kommission der Europäischen Gemeinschaft und dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) zur Bearbeitung der Eurocodes für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauwerken (BC/CEN/03/89).

EN 1994, *Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Stahl-Beton-Verbundbauten*;

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 Aluminiumkonstruktionen*.

Die Europäischen Normen berücksichtigen die Verantwortlichkeit der Bauaufsichtsorgane in den Mitgliedsländern und haben deren Recht zur nationalen Festlegung sicherheitsbezogener Werte berücksichtigt, so dass diese Werte von Land zu Land unterschiedlich bleiben können.

## Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes

Die Mitgliedsländer der EU und von EFTA betrachten die Eurocodes als Bezugsdokumente für folgende Zwecke:

- als Mittel zum Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Richtlinie 89/106/EWG, besonders mit der wesentlichen Anforderung Nr. 1: Mechanischer Festigkeit und Standsicherheit und der wesentlichen Anforderung Nr. 2: Brandschutz;
- als Grundlage für die Spezifizierung von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen;
- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (EN's und ETA's)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten<sup>2)</sup>, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen<sup>3)</sup>. Daher sind die technischen Gesichtspunkte, die sich aus den Eurocodes ergeben, von den Technischen Komitees von CEN und den Arbeitsgruppen von EOTA, die an Produktnormen arbeiten, zu beachten, damit diese Produktnormen mit den Eurocodes vollständig kompatibel sind.

Die Eurocodes liefern Regelungen für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von kompletten Tragwerken und Baukomponenten, die sich für die tägliche Anwendung eignen. Sie gehen auf traditionelle Bauweisen und Aspekte innovativer Anwendungen ein, liefern aber keine vollständigen Regelungen für ungewöhnliche Baulösungen und Entwurfsbedingungen, wofür Spezialistenbeiträge erforderlich sein können.

---

2) Entsprechend Artikel 3.3 der Bauproduktenrichtlinie sind die wesentlichen Angaben in Grundlagendokumenten zu konkretisieren, um damit die notwendigen Verbindungen zwischen den wesentlichen Anforderungen und den Mandaten für die Erstellung harmonisierter Europäischer Normen und Richtlinien für die Europäische Zulassungen selbst zu schaffen.

3) Nach Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hat das Grundlagendokument

- a) die wesentliche Anforderung zu konkretisieren, in dem die Begriffe und, soweit erforderlich, die technische Grundlage für Klassen und Anforderungshöhen vereinheitlicht werden,
- b) die Methode zur Verbindung dieser Klasse oder Anforderungshöhen mit technischen Spezifikationen anzugeben, z. B. rechnerische oder Testverfahren, Entwurfsregeln,
- c) als Bezugsdokument für die Erstellung harmonisierter Normen oder Richtlinien für Europäische Technische Zulassungen zu dienen.

Die Eurocodes spielen de facto eine ähnliche Rolle für die wesentliche Anforderung Nr. 1 und einen Teil der wesentlichen Anforderung Nr. 2.

## **Nationale Fassungen der Eurocodes**

Die Nationale Fassung eines Eurocodes enthält den vollständigen Text des Eurocodes (einschließlich aller Anhänge), so wie von CEN veröffentlicht, mit möglicherweise einer nationalen Titelseite und einem nationalen Vorwort sowie einem Nationalen Anhang.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen offen gelassen wurden. Diese national festzulegenden Parameter (NDP) gelten für die Tragwerksplanung von Hochbauten und Ingenieurbauten in dem Land, in dem sie erstellt werden. Sie umfassen:

- Zahlenwerte für  $\gamma$ -Faktoren und/oder Klassen, wo die Eurocodes Alternativen eröffnen;
- Zahlenwerte, wo die Eurocodes nur Symbole angeben;
- landesspezifische, geographische und klimatische Daten, die nur für ein Mitgliedsland gelten, z. B. Schneekarten;
- Vorgehensweise, wenn die Eurocodes mehrere zur Wahl anbieten;
- Verweise zur Anwendung des Eurocodes, soweit diese ergänzen und nicht widersprechen.

## **Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG)**

Die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung<sup>4)</sup> müssen konsistent sein. Insbesondere sollten die Hinweise, die mit den CE-Zeichen an den Bauprodukten verbunden sind und die die Eurocodes in Bezug nehmen, klar erkennen lassen, welche national festzulegenden Parameter (NDP) zugrunde liegen.

## **Besondere Hinweise zu EN 1993-1**

Es ist vorgesehen, EN 1993 gemeinsam mit den Eurocodes EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*, EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke* sowie EN 1992 bis EN 1999, soweit hierin auf Tragwerke aus Stahl oder Bauteile aus Stahl Bezug genommen wird, anzuwenden.

EN 1993-1 ist der erste von insgesamt sechs Teilen von EN 1993, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*. In diesem ersten Teil sind Grundregeln für Stabtragwerke und zusätzliche Anwendungsregeln für den Hochbau enthalten. Die Grundregeln finden auch gemeinsam mit den weiteren Teilen EN 1993-2 bis EN 1993-6 Anwendung.

EN 1993-1 besteht aus zwölf Teilen EN 1993-1-1 bis EN 1993-1-12, die jeweils spezielle Stahlbauteile, Grenzzustände oder Werkstoffe behandeln.

EN 1993-1 darf auch für Bemessungssituationen außerhalb des Geltungsbereichs der Eurocodes angewendet werden (andere Tragwerke, andere Belastungen, andere Werkstoffe). EN 1993-1 kann dann als Bezugsdokument für andere CEN/TCs (Technische Komitees), die mit Tragwerksbemessung befasst sind, dienen.

Die Anwendung von EN 1993-1 ist gedacht für:

- Komitees zur Erstellung von Spezifikationen für Bauprodukte, Normen für Prüfverfahren sowie Normen für die Bauausführung;
- Auftraggeber (z. B. zur Formulierung spezieller Anforderungen);
- Tragwerksplaner und Bauausführende;
- zuständige Behörden.

---

4) Siehe Artikel 3.3 und Art. 12 der Bauproduktenrichtlinie, ebenso wie 4.2, 4.3.1, 4.3.2 und 5.2 des Grundlagendokumentes Nr. 1

Die Zahlenwerte für  $\gamma$ -Faktoren und andere Parameter, die die Zuverlässigkeit festlegen, gelten als Empfehlungen, mit denen ein akzeptables Zuverlässigkeitsniveau erreicht werden soll. Bei ihrer Festlegung wurde vorausgesetzt, dass ein angemessenes Niveau der Ausführungsqualität und Qualitätsprüfung vorhanden ist.

## Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1

Diese Norm enthält alternative Methoden, Zahlenangaben und Empfehlungen in Verbindung mit Anmerkungen, die darauf hinweisen, wo Nationale Festlegungen getroffen werden können. EN 1993-1-1 wird bei der nationalen Einführung einen Nationalen Anhang enthalten, der alle national festzulegenden Parameter enthält, die für die  $\overline{AC}$  Bemessung und Konstruktion von Stahl- und Tiefbauten  $\overline{AC}$  im jeweiligen Land erforderlich sind.

Nationale Festlegungen sind bei folgenden Regelungen vorgesehen:

- 2.3.1(1);
- 3.1(2);
- 3.2.1(1);
- 3.2.2(1);
- 3.2.3(1);
- 3.2.3(3)B;
- 3.2.4(1)B;
- 5.2.1(3);
- 5.2.2(8);
- 5.3.2(3);
- 5.3.2(11);
- 5.3.4(3);
- 6.1(1);
- 6.1(1)B;
- 6.3.2.2(2);
- 6.3.2.3(1);
- 6.3.2.3(2);
- 6.3.2.4(1)B;
- 6.3.2.4(2)B;
- 6.3.3(5);
- 6.3.4(1);
- 7.2.1(1)B;
- 7.2.2(1)B;
- 7.2.3(1)B;
- BB.1.3(3)B.

## 1 Allgemeines

### 1.1 Anwendungsbereich

#### 1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3

(1) Eurocode 3 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.

(2) Eurocode 3 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.

(3) Eurocode 3 gilt in Verbindung mit folgenden Regelwerken:

- EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*;
- EN 1991, *Einwirkungen auf Tragwerke*;
- ENs, ETAGs und ETAs für Bauprodukte, die für Stahlbauten Verwendung finden;
- EN 1090, *Herstellung und Errichtung von Stahlbauten — Technische Anforderungen*;
- EN 1992 bis EN 1999, soweit auf Stahltragwerke oder Stahlbaukomponenten Bezug genommen wird.

(4) Eurocode 3 ist in folgende Teile unterteilt:

EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — 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: Tank- und Silobauwerke und Rohrleitungen*;

EN 1993-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 5: Spundwände und Pfähle aus Stahl*;

EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnträger*.

(5) Teile EN 1993-2 bis EN 1993-6 nehmen auf die Grundregeln von EN 1993-1 Bezug, die Regelungen in EN 1993-2 bis EN 1993-6 sind Ergänzungen zu den Grundregeln in EN 1993-1.

(6) EN 1993-1, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau* beinhaltet:

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: Baulicher Brandschutz*;

EN 1993-1-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-3: AC Kaltgeformte Bauteile und Bleche AC*;

EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Nichtrostender Stahl*;

EN 1993-1-5, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Bauteile aus ebenen Blechen mit Beanspruchungen in der Blechebene*;

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

EN 1993-1-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-7: Ergänzende Regeln zu ebenen Blechfeldern mit Querbelastung*;

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

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: Auswahl der Stahlsorten 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 stählernen Zugelementen*;

EN 1993-1-12, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlgüten bis S 700*.

### 1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1

(1) EN 1993-1-1 enthält Regeln für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von Tragwerken aus Stahl mit Blechdicken  $t \geq 3$  mm. Zusätzlich werden Anwendungsregeln für den Hochbau angegeben. Diese Anwendungsregeln sind durch die Abschnittsnummerierung ( )B gekennzeichnet.

ANMERKUNG (AC) Für kaltgeformte Bauteile und Bleche siehe EN 1993-1-3 (AC).

(2) EN 1993-1-1 enthält folgende Abschnitte:

Abschnitt 1: Einführung;

Abschnitt 2: Grundlagen für die Tragwerkplanung;

Abschnitt 3: Werkstoffe;

Abschnitt 4: Dauerhaftigkeit;

Abschnitt 5: Tragwerksberechnung;

Abschnitt 6: Grenzzustände der Tragfähigkeit;

Abschnitt 7: Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit.

(3) Abschnitte 1 und 2 enthalten zusätzliche Regelungen zu EN 1990, *Grundlagen der Tragwerksplanung*.

(4) Abschnitt 3 behandelt die Werkstoffeigenschaften der aus niedrig legiertem Baustahl gefertigten Stahlprodukte.

(5) Abschnitt 4 legt grundlegende Anforderungen an die Dauerhaftigkeit fest.

(6) Abschnitt 5 bezieht sich auf die Tragwerksberechnung von Stabtragwerken, die mit einer ausreichenden Genauigkeit aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetzt werden können.

(7) Abschnitt 6 enthält detaillierte Regeln zur Bemessung von Querschnitten und Bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.

(8) Abschnitt 7 enthält die Anforderungen für die Gebrauchstauglichkeit.

## 1.2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

### 1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen

EN 1090, *Herstellung und Errichtung von Stahlbauten — Technische Anforderungen*

EN ISO 12944, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme*

EN  ISO  1461, *Durch Feuerverzinken auf Stahl aufbrachte Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen*

### 1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustähle

EN 10025-1:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 1: Allgemeine technische Lieferbedingungen*

EN 10025-2:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10025-3:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 3: Technische Lieferbedingungen für normalgeglühte/normalisierend gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10025-4:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 4: Technische Lieferbedingungen für thermomechanisch gewalzte schweißgeeignete Feinkornbaustähle*

EN 10025-5:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 5: Technische Lieferbedingungen für wetterfeste Baustähle*

EN 10025-6:2004, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 6: Technische Lieferbedingungen für Flacherzeugnisse aus Stählen mit höherer Streckgrenze im vergüteten Zustand*

EN 10164:1993, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche — Technische Lieferbedingungen*

EN 10210-1:1994, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

EN 10219-1:1997, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen — Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

## 1.3 Annahmen

(1) Zusätzlich zu den Grundlagen von EN 1990 wird vorausgesetzt, dass Herstellung und Errichtung von Stahlbauten nach EN 1090 erfolgen.

## 1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln

(1) Es gelten die Regelungen nach EN 1990, 1.4.

## 1.5 Begriffe

(1) Es gelten die Begriffe von EN 1990, 1.5.

(2) Nachstehende Begriffe werden in EN 1993-1-1 mit folgender Bedeutung verwendet:

### 1.5.1

#### **Tragwerk**

tragende Bauteile und Verbindungen zur Abtragung von Lasten; der Begriff umfasst Stabtragwerke wie Rahmentragwerke oder Fachwerktragwerke; es gibt ebene und räumliche Tragwerke

### 1.5.2

#### **Teiltragwerke**

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

### 1.5.3

#### **Art des Tragwerks**

zur Unterscheidung von Tragwerken werden folgende Begriffe verwendet:

- **Tragwerke mit verformbaren Anschlüssen**, bei denen die wesentlichen Eigenschaften der zu verbindenden Bauteile und ihrer Anschlüsse in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen;
- **Tragwerke mit steifen Anschlüssen**, bei denen nur die Eigenschaften der Bauteile in der statischen Berechnung berücksichtigt werden müssen;
- **Gelenktragwerke**, in denen die Anschlüsse nicht in der Lage sind, Momente zu übertragen

### 1.5.4

#### **Tragwerksberechnung**

die Bestimmung der Schnittgrößen und Verformungen des Tragwerks, die im Gleichgewicht mit den Einwirkungen stehen

### 1.5.5

#### **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

### 1.5.6

#### **Knicklänge**

Länge des an beiden Enden gelenkig gelagerten Druckstabes, der die gleiche  $\langle AC \rangle$  ideale Verzweigungslast  $\langle AC \rangle$  hat wie der Druckstab mit seinen realen Lagerungsbedingungen im System

### 1.5.7

#### **mittragende Breite**

reduzierte Flanschbreite für den Sicherheitsnachweis von Trägern mit breiten Gurtscheiben zur Berücksichtigung ungleichmäßiger Spannungsverteilung infolge von Scheibenverformungen

### 1.5.8

#### **Kapazitätsbemessung**

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

### 1.5.9

#### **Bauteil mit konstantem Querschnitt**

Bauteil mit konstantem Querschnitt entlang der Bauteilachse

## 1.6 Formelzeichen

- (1) Folgende Formelzeichen werden im Sinne dieser Norm verwandt.
- (2) Weitere Formelzeichen werden im Text definiert.

ANMERKUNG Die Formelzeichen sind in der Reihenfolge ihrer Verwendung in EN 1993-1-1 aufgelistet. Ein Formelzeichen kann unterschiedliche Bedeutungen haben.

### *Abschnitt 1*

$x-x$	Längsachse eines Bauteils;
$y-y$	Querschnittsachse;
$z-z$	Querschnittsachse;
$u-u$	starke Querschnittshauptachse (falls diese nicht mit der $y-y$ Achse übereinstimmt);
$v-v$	schwache Querschnittshauptachse (falls diese nicht mit der $z-z$ Achse übereinstimmt);
$b$	Querschnittsbreite;
$h$	Querschnittshöhe;
$d$	Höhe des geraden Stegteils;
$t_w$	Stegdicke;
$t_f$	Flanschdicke;
$r$	Ausrundungsradius;
$r_1$	Ausrundungsradius;
$r_2$	Abrundungsradius;
$t$	Dicke.

### *Abschnitt 2*

$P_k$	Nennwert einer während der Errichtung aufgebrauchten Vorspannkraft;
$G_k$	Nennwert einer ständigen Einwirkung;
$X_k$	charakteristischer Wert einer Werkstoffeigenschaft;
$X_n$	Nennwert einer Werkstoffeigenschaft;
$R_d$	Bemessungswert einer Beanspruchbarkeit;
$R_k$	charakteristischer Wert einer Beanspruchbarkeit;
$\gamma_M$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit;
$\gamma_{Mi}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit für die Versagensform $i$ ;
$\gamma_{Mf}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsbeanspruchbarkeit;
$\eta$	Umrechnungsfaktor;
$a_d$	Bemessungswert einer geometrischen Größe.

### *Abschnitt 3*

$f_y$	Streckgrenze;
$f_u$	Zugfestigkeit;
$\langle \text{AC} \rangle R_{eH} \langle \text{AC} \rangle$	Streckgrenze nach Produktnorm;
$R_m$	Zugfestigkeit nach Produktnorm;
$A_0$	Anfangsquerschnittsfläche;
$\varepsilon_y$	Fließdehnung;

$\varepsilon_u$	Gleichmaßdehnung;
$Z_{Ed}$	erforderlicher $Z$ -Wert des Werkstoffs aus Dehnungsbeanspruchung in Blechdickenrichtung;
$Z_{Rd}$	verfügbarer $Z$ -Wert des Werkstoffs in Blechdickenrichtung;
$E$	Elastizitätsmodul;
$G$	Schubmodul;
$\nu$	Poissonsche Zahl, Querkontraktionszahl;
$\alpha$	Wärmeausdehnungskoeffizient.

#### Abschnitt 5

$\alpha_{cr}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die ideale Verzweigungslast zu erreichen;
$F_{Ed}$	Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;
$F_{cr}$	ideale Verzweigungslast auf der Basis elastischer Anfangssteifigkeiten;
$H_{Ed}$	☐ Bemessungswert der gesamten horizontalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub) ☐;
$V_{Ed}$	Bemessungswert der gesamten vertikalen ☐ vom Stockwerk (Stockwerksdruck) übertragenen Last am Tragwerk ☐;
$\delta_{H,Ed}$	Horizontalverschiebung der oberen Knoten gegenüber den unteren Knoten eines Stockwerks infolge $H_{Ed}$ ;
$h$	Stockwerkshöhe;
$\bar{\lambda}$	Schlankheitsgrad;
$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck);
$\phi$	Anfangsschiefstellung;
$\phi_0$	Ausgangswert der Anfangsschiefstellung;
$\alpha_h$	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit der Stützhöhe $h$ ;
$h$	Tragwerkshöhe;
$\alpha_m$	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Stützen in einer Reihe;
$m$	Anzahl der Stützen in einer Reihe;
$e_0$	Amplitude einer Bauteilimperfection;
$L$	Bauteillänge;
$\eta_{init}$	Form der geometrischen Vorimperfection aus der Eigenfunktion $\eta_{cr}$ bei der niedrigsten Verzweigungslast;
$\eta_{cr}$	Eigenfunktion (Modale) für die Verschiebungen $\eta$ bei Erreichen der niedrigsten Verzweigungslast;
$e_{0,d}$	Bemessungswert der Amplitude einer Bauteilimperfection;
$M_{Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit eines Querschnitts;
$N_{Rk}$	charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit eines Querschnitts;
$\alpha$	Imperfektionsbeiwert;
$EI \eta''_{cr}$	Eigenfunktion (Modale) der Biegemomente $EI \eta''$ bei Erreichen der niedrigsten Verzweigungslast;
$\chi$	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knicklinie;

$\alpha_{ult,k}$	☐AC☐ Kleinster Vergrößerungsfaktor für die Bemessungswerte der Belastung, mit dem die charakteristische Tragfähigkeit der Bauteile mit Verformungen in der Tragwerksebene erreicht wird, ohne dass Knicken oder Biegedrillknicken aus der Ebene berücksichtigt wird. Dabei werden, wo erforderlich, alle Effekte aus Imperfektionen und Theorie 2. Ordnung in der Tragwerksebene berücksichtigt. In der Regel wird $\alpha_{ult,k}$ durch den Querschnittsnachweis am ungünstigsten Querschnitt des Tragwerks oder Teiltragwerks bestimmt ☐AC☐.
$\alpha_{cr}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die ☐AC☐ ideale Verzweigungslast bei Ausweichen aus der Ebene ☐AC☐ (siehe $\alpha_{ult,k}$ ) zu erreichen;
$q$	Ersatzkraft pro Längeneinheit auf ein stabilisierendes System äquivalent zur Wirkung von Imperfektionen;
$\delta_q$	Durchbiegung des stabilisierenden Systems unter der Ersatzkraft $q$ ;
$q_d$	Bemessungswert der Ersatzkraft $q$ pro Längeneinheit;
$M_{Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments;
$k$	Beiwert für $e_{0,d}$ ;
$\varepsilon$	Dehnung;
$\sigma$	Normalspannung;
$\sigma_{com,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckspannung in einem Querschnittsteil;
$\ell$	Länge;
$\varepsilon$	☐AC☐ Faktor ☐AC☐ in Abhängigkeit von $f_y$ ;
$c$	Breite oder Höhe eines Querschnittsteils;
$\alpha$	Anteil eines Querschnittsteils unter Druckbeanspruchung;
$\psi$	Spannungs- oder Dehnungsverhältnis;
$k_\sigma$	☐AC☐ Beulfaktor; ☐AC☐
$d$	Außendurchmesser runder Hohlquerschnitte.

**Abschnitt 6**

$\gamma_{M0}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (bei Anwendung von Querschnittsnachweisen);
$\gamma_{M1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen);
$\gamma_{M2}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung;
$\sigma_{x,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung;
$\sigma_{z,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Querrichtung;
$\tau_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung;
$N_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft;
$M_{y,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die $y$ - $y$ Achse;
$M_{z,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die $z$ - $z$ Achse;
$N_{Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit;
$M_{y,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die $y$ - $y$ Achse;

$M_{z,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die $z$ - $z$ Achse;
$s$	Lochabstand bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion parallel zur Bauteilachse;
$p$	Lochabstand bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion senkrecht zur Bauteilachse;
$n$	Anzahl der Löcher längs einer kritischen Risslinie (in einer Diagonalen oder Zickzacklinie), die sich über den Querschnitt oder über Querschnittsteile erstreckt;
$d_0$	Lochdurchmesser;
$e_N$	Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche $A_{eff}$ bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts mit der Fläche $A$ ;
$\Delta M_{Ed}$	Bemessungswert eines zusätzlichen einwirkenden Momentes infolge der Verschiebung $e_N$ ;
$A_{eff}$	wirksame Querschnittsfläche;
$N_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit;
$N_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts;
$N_{u,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher;
$A_{net}$	Nettoquerschnittsfläche;
$N_{net,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Nettoquerschnitts;
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit bei Druck;
$M_{c,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Berücksichtigung von Löchern;
$W_{pl}$	plastisches Widerstandsmoment;
$W_{el,min}$	kleinstes elastisches Widerstandsmoment;
$W_{eff,min}$	kleinstes wirksames elastisches Widerstandsmoment;
$A_f$	Fläche des zugbeanspruchten Flansches;
$A_{f,net}$	Nettofläche des zugbeanspruchten Flansches;
$V_{Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft;
$V_{c,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit;
$V_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit;
$A_v$	wirksame Schubfläche;
$\eta$	Beiwert für die wirksame Schubfläche;
$S$	Statisches Flächenmoment;
$I$	Flächenträgheitsmoment des Gesamtquerschnitts;
$\boxed{AC} A$	Querschnittsfläche; $\boxed{AC}$
$A_w$	Fläche des Stegbleches;
$A_f$	Fläche eines Flansches;
$T_{Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes;
$T_{Rd}$	Bemessungswert der Torsionstragfähigkeit;
$T_{t,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden $\boxed{AC}$ St. Venant'schen Torsionsmoments $\boxed{AC}$ ;
$T_{w,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden $\boxed{AC}$ Wölb-torsionsmoments $\boxed{AC}$ ;

$\tau_{l,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge St. Venant'scher (primärer) Torsion;
$\tau_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion;
$\sigma_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannungen infolge des Bimomentes $B_{Ed}$ ;
$B_{Ed}$	<b>[AC]</b> Bemessungswert des einwirkenden Bimoments; <b>[AC]</b>
$V_{pl,T,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit abgemindert infolge $T_{Ed}$ ;
$\rho$	Abminderungsbeiwert zur Bestimmung des Bemessungswerts der Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung von $V_{Ed}$ ;
$M_{V,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit abgemindert infolge $V_{Ed}$ ;
$M_{N,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit abgemindert infolge $N_{Ed}$ ;
$n$	Verhältnis von $N_{Ed}$ zu $N_{pl,Rd}$ ;
$a$	Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche;
$\alpha$	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen;
$\beta$	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen;
$e_{N,y}$	Verschiebung der Hauptachse $y$ - $y$ des wirksamen Querschnitts mit der Fläche $A_{eff}$ bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts mit der Fläche $A$ ;
$e_{N,z}$	Verschiebung der Hauptachse $z$ - $z$ des wirksamen Querschnitts mit der Fläche $A_{eff}$ bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts mit der Fläche $A$ ;
$W_{eff,min}$	kleinstes wirksames elastisches Widerstandsmoment;
$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit von Bauteilen unter planmäßig zentrischem Druck;
$\chi$	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knickkurve;
$\Phi$	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes $\chi$ ;
$a_0, a, b, c, d$	Klassenbezeichnungen der Knicklinien;
$N_{cr}$	ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt;
$i$	Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene bezogen auf den Bruttoquerschnitt;
$\lambda_1$	Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrads;
$\bar{\lambda}_T$	Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken;
$N_{cr,TF}$	ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken;
$N_{cr,T}$	ideale Verzweigungslast für Drillknicken;
$M_{b,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken;
$\chi_{LT}$	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken;
$\Phi_{LT}$	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes $\chi_{LT}$ ;
$\alpha_{LT}$	Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Biegedrillknicklinie;
$\bar{\lambda}_{LT}$	Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken;
$M_{cr}$	ideales Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken;
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Plateaulänge der Biegedrillknicklinie für gewalzte <b>[AC]</b> und geschweißte <b>[AC]</b> Querschnitte;
$\beta$	Korrekturfaktor der Biegedrillknicklinie für gewalzte <b>[AC]</b> und geschweißte <b>[AC]</b> Querschnitte;
$\chi_{LT,mod}$	modifizierter Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken;

$f$	Modifikationsfaktor für $\chi_{LT}$ ;
$k_c$	Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Momentenverteilung;
$\psi$	Momentenverhältnis in einem Bauteilabschnitt;
$L_c$	Abstand zwischen seitlichen Stützpunkten;
$\bar{\lambda}_f$	Schlankheitsgrad des druckbeanspruchten Flansches;
$i_{f,z}$	Trägheitsradius des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;
$I_{\text{eff},f}$	wirksames Flächenträgheitsmoment des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;
$A_{\text{eff},f}$	wirksame Fläche des druckbeanspruchten Flansches;
$A_{\text{eff},w,c}$	wirksame Fläche des druckbeanspruchten Teils des Stegblechs;
$\bar{\lambda}_{c0}$	Grenzschlankheitsgrad;
$k_{fl}$	Anpassungsfaktor;
$\boxed{\text{AC}} \Delta M_{y,Ed} \boxed{\text{AC}}$	Momente infolge Verschiebung $e_{Ny}$ der Querschnittsachsen;
$\boxed{\text{AC}} \Delta M_{z,Ed} \boxed{\text{AC}}$	Momente infolge Verschiebung $e_{Nz}$ der Querschnittsachsen;
$\chi_y$	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken ( $y$ - $y$ Achse);
$\chi_z$	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken ( $z$ - $z$ Achse);
$k_{yy}$	Interaktionsfaktor;
$k_{yz}$	Interaktionsfaktor;
$k_{zy}$	Interaktionsfaktor;
$k_{zz}$	Interaktionsfaktor;
$\bar{\lambda}_{op}$	globaler Schlankheitsgrad eines Bauteils oder einer Bauteilkomponente zur Berücksichtigung von Stabilitätsverhalten aus der Ebene;
$\chi_{op}$	Abminderungsbeiwert in Abhängigkeit von $\bar{\lambda}_{op}$ ;
$\alpha_{ult,k}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um den charakteristischen Wert der Tragfähigkeit bei Unterdrückung von Verformungen aus der Ebene zu erreichen;
$\alpha_{cr,op}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die $\boxed{\text{AC}}$ Verzweigungslast $\boxed{\text{AC}}$ bei Ausweichen aus der Ebene (siehe $\alpha_{ult,k}$ ) zu erreichen;
$N_{Rk}$	charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit;
$M_{y,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit ( $y$ - $y$ Achse);
$M_{z,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit ( $z$ - $z$ Achse);
$Q_m$	lokale Ersatzkraft auf stabilisierende Bauteile im Bereich von Fließgelenken;
$L_{stable}$	Mindestabstand von Abstützmaßnahmen;
$L_{ch}$	Knicklänge eines Gurtstabs;
$h_0$	Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe;
$a$	Bindeblechabstand;
$\alpha$	Winkel zwischen den Schwerachsen von Gitterstäben und Gurtstäben;
$i_{\min}$	kleinster Trägheitsradius von Einzelwinkeln;

$A_{ch}$	Querschnittsfläche eines Gurtstabes;
$N_{ch,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Gurtstab eines mehrteiligen Bauteils;
$M_{Ed}^I$	Bemessungswert des $\overline{AC}$ maximal einwirkenden Moments $\overline{AC}$ für ein mehrteiliges Bauteils;
$I_{eff}$	effektives Flächenträgheitsmoment eines mehrteiligen Bauteils;
$S_v$	Schubsteifigkeit infolge der Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche;
$n$	Anzahl der Ebenen der Gitterstäbe $\overline{AC}$ oder Bindebleche $\overline{AC}$ ;
$A_d$	Querschnittsfläche eines Gitterstabes einer Gitterstütze;
$d$	Länge eines Gitterstabes einer Gitterstütze;
$A_v$	Querschnittsfläche eines Bindeblechs (oder horizontalen Bauteils) einer Gitterstütze;
$I_{ch}$	Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene;
$I_b$	Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene;
$\mu$	Wirkungsgrad;
$i_y$	Trägheitsradius ( $y$ - $y$ Achse).

#### Anhang A

$C_{my}$	äquivalenter Momentenbeiwert;
$C_{mz}$	äquivalenter Momentenbeiwert;
$C_{mLT}$	äquivalenter Momentenbeiwert;
$\mu_y$	Beiwert;
$\mu_z$	Beiwert;
$N_{cr,y}$	ideale Verzweigungslast für Knicken um die $y$ - $y$ Achse;
$N_{cr,z}$	ideale Verzweigungslast für Knicken um die $z$ - $z$ Achse;
$C_{yy}$	Beiwert;
$C_{yz}$	Beiwert;
$C_{zy}$	Beiwert;
$C_{zz}$	Beiwert;
$w_y$	Beiwert;
$w_z$	Beiwert;
$n_{pl}$	Beiwert;
$\bar{\lambda}_{max}$	maximaler Wert von $\bar{\lambda}_y$ und $\bar{\lambda}_z$ ;
$b_{LT}$	Beiwert;
$c_{LT}$	Beiwert;
$d_{LT}$	Beiwert;
$e_{LT}$	Beiwert;
$\psi_y$	Verhältnis der Endmomente ( $y$ - $y$ Achse);
$C_{my,0}$	Beiwert;
$C_{mz,0}$	Beiwert;

$a_{LT}$	Beiwert;
$I_T$	St. Venant'sche Torsionssteifigkeit;
$I_y$	Flächenträgheitsmoment um die $y$ - $y$ Achse;
$\overline{AC} C1$	Verhältnis von kritischem Biegemoment (größter Wert unter den Bauteilen) und dem kritischen konstanten Biegemoment für ein Bauteil mit gelenkiger Lagerung. $\overline{AC} 1$
$M_{i,Ed}(x)$	Größtwert von $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$ ;
$ \delta_x $	größte Verformung entlang des Bauteils.

#### Anhang B

$\alpha_s$	Beiwert, $\overline{AC} s$ = Durchbiegung (en:sagging) $\overline{AC} 1$ ;
$\alpha_h$	Beiwert, $\overline{AC} h$ = Aufbiegung (en:hogging) $\overline{AC} 1$ ;
$C_m$	äquivalenter Momentenbeiwert.

#### Anhang AB

$\gamma_G$	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen;
$G_k$	charakteristischer Wert der ständigen Einwirkung $G$ ;
$\gamma_Q$	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen;
$Q_k$	charakteristischer Wert der veränderlichen Einwirkung $Q$ .

#### Anhang BB

$\overline{\lambda}_{\text{eff},v}$	effektiver Schlankheitsgrad für Knicken um die $v$ - $v$ Achse;
$\overline{\lambda}_{\text{eff},y}$	effektiver Schlankheitsgrad für Knicken um die $y$ - $y$ Achse;
$\overline{\lambda}_{\text{eff},z}$	effektiver Schlankheitsgrad für Knicken um die $z$ - $z$ Achse;
$L$	Systemlänge;
$L_{cr}$	Knicklänge;
$S$	Schubsteifigkeit der Bleche im Hinblick auf die Verformungen des Trägers in der Blechebene;
$I_w$	Wölbflächenmoment des Trägers;
$C_{9,k}$	Rotationssteifigkeit, die durch das stabilisierende Bauteil und die Verbindung mit dem Träger bewirkt wird;
$K_v$	Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Berechnung;
$K_9$	Faktor zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Möglichkeit der seitlichen Verschiebung des gegen Verdrehen gestützten Trägers;
$C_{9R,k}$	Rotationssteifigkeit des stabilisierenden Bauteils bei Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger;
$C_{9C,k}$	Rotationssteifigkeit der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil;
$C_{9D,k}$	Rotationssteifigkeit infolge von Querschnittsverformungen des Trägers;
$L_m$	Mindestabstand zwischen seitlichen Stützungen;
$L_k$	Mindestabstand zwischen Verdrehbehinderungen;
$L_s$	Mindestabstand zwischen einem plastischen Gelenk und einer benachbarten Verdrehbehinderungen;

$C_1$	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs;
$C_m$	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung eines linearen Momentenverlaufs;
$C_n$	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung eines nichtlinearen Momentenverlaufs;
$a$	Abstand zwischen der Achse des Bauteils mit Fließgelenk und der Achse der Abstützung der aussteifenden Bauteile;
$B_0$	Beiwert;
$B_1$	Beiwert;
$B_2$	Beiwert;
$\eta$	☐AC☐ ideales ☐AC☐ Verhältnis von $N_{crE}$ zu $N_{crT}$ ;
$i_s$	auf die Schwerlinie des aussteifenden Bauteils bezogener Trägheitsradius;
$\beta_t$	Verhältnis des kleinsten zum größten Endmoment;
$R_1$	Moment an einem Ort im Bauteil;
$R_2$	Moment an einem Ort im Bauteil;
$R_3$	Moment an einem Ort im Bauteil;
$R_4$	Moment an einem Ort im Bauteil;
$R_5$	Moment an einem Ort im Bauteil;
$R_E$	maximaler Wert von $R_1$ oder $R_5$ ;
$R_s$	maximaler Wert des Biegemoments innerhalb der Länge $L_y$ ;
$c$	Voutenfaktor;
$h_h$	zusätzliche Querschnittshöhe infolge der Voute;
$h_{max}$	maximale Querschnittshöhe innerhalb der Länge $L_y$ ;
$h_{min}$	minimale Querschnittshöhe innerhalb der Länge $L_y$ ;
$h_s$	Höhe des Querschnitts ohne Voute;
$L_h$	Länge der Voute innerhalb der Länge $L_y$ ;
$L_y$	Abstand zwischen seitlichen Abstützungen.

## **1.7 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:

- $y-y$  Achse parallel zum kleineren Schenkel;
- $z-z$  Achse rechtwinklig zum kleineren Schenkel.

— wenn erforderlich:

- $u-u$  Hauptachse (wenn sie nicht mit der  $y-y$ -Achse übereinstimmt);
- $v-v$  Nebenachse (wenn sie nicht mit der  $z-z$ -Achse übereinstimmt).

(3) Die Symbole für die Abmessungen und Achsen gewalzter Stahlprofile sind in Bild 1.1 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 dieses Eurocodes 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.

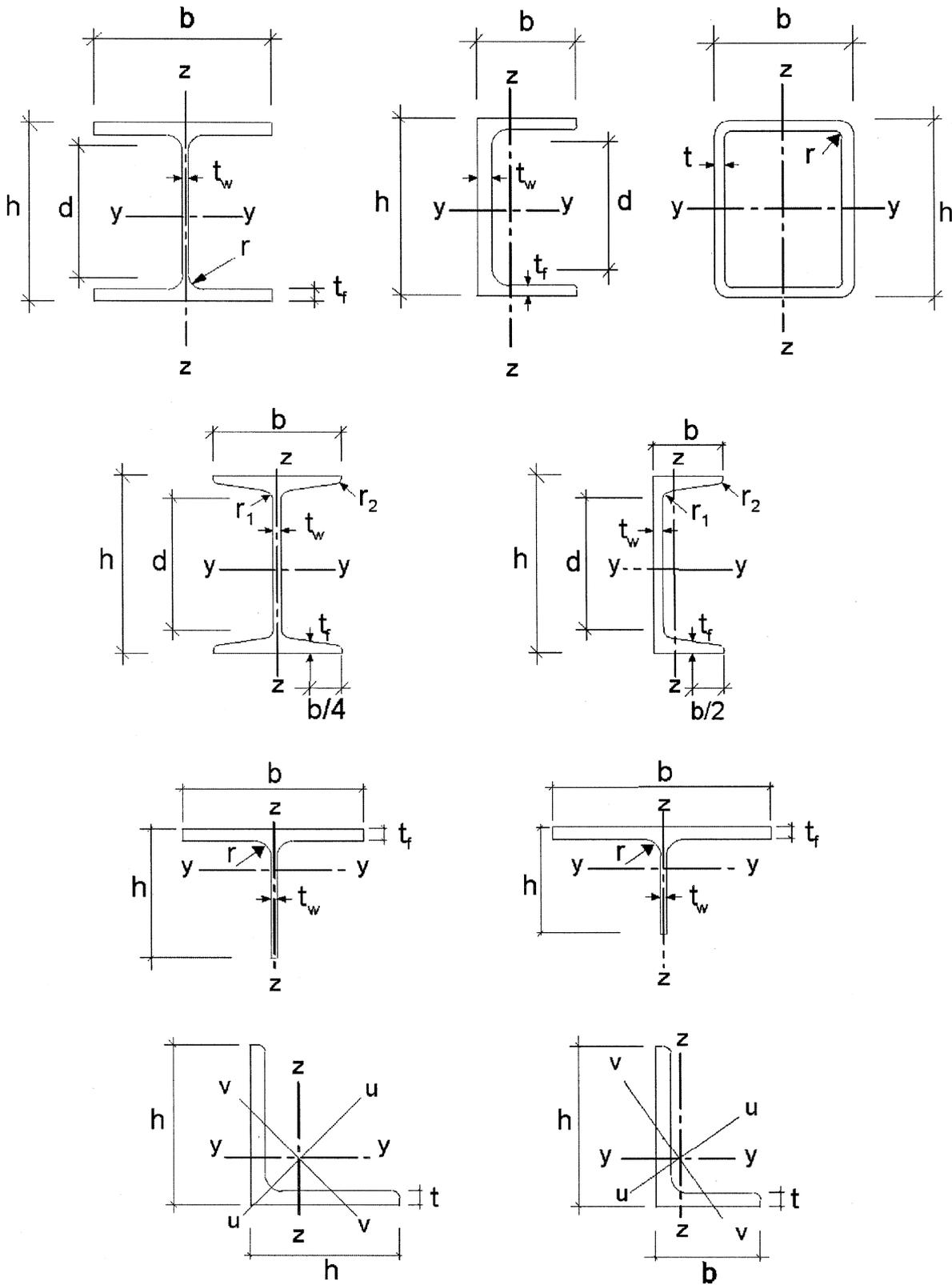


Bild 1.1 — Abmessungen und Achsen von Profilquerschnitten

## 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung

### 2.1 Anforderungen

#### 2.1.1 Grundlegende Anforderungen

- (1)P Für die Tragwerksplanung von Stahlbauten gelten die Grundlagen von EN 1990.
- (2) Für Stahlbauten gelten darüber hinaus in der Regel die in diesem Abschnitt angegebenen Regelungen.
- (3) Die grundlegenden Anforderungen von EN 1990, Abschnitt 2 gelten in der Regel als erfüllt, wenn der Entwurf, die Berechnung und die Bemessung mit Grenzzuständen in Verbindung mit Einwirkungen nach EN 1991 und Teilsicherheitsbeiwerten und Lastkombinationen entsprechend EN 1990 durchgeführt wird.
- (4) Die Bemessungsregeln für die Grenzzustände der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und für die Dauerhaftigkeit in den verschiedenen Teilen von EN 1993 sind in der Regel für die jeweiligen Anwendungsbereiche maßgebend.

#### 2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit

- (1) Falls eine andere als die in dieser Norm empfohlene Zuverlässigkeit gefordert wird, sollte diese vorzugsweise durch entsprechende Gütesicherung bei der Tragwerksplanung und der Ausführung nach EN 1990, Anhang C bzw. EN 1090 erreicht werden.

#### 2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit

##### 2.1.3.1 Allgemeines

- (1)  $\overline{\text{AC}}$  P  $\overline{\text{AC}}$  Abhängig von der Art der Einwirkungen, die die Dauerhaftigkeit und Nutzungsdauer (siehe EN 1990) beeinflussen, ist bei Stahltragwerken in der Regel Folgendes zu beachten:

- Korrosionsgerechte Gestaltung gegebenenfalls mit:
  - geeignetem Schutz der Oberfläche (siehe EN ISO 12944);
  - Einsatz von wetterfestem Stahl;
  - Einsatz von nichtrostendem Stahl (siehe EN 1993-1-4).
- Konstruktive Gestaltung im Hinblick auf ausreichende Ermüdungssicherheit (siehe 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.

##### 2.1.3.2 Nutzungsdauer bei Hochbauten

- (1)  $\overline{\text{AC}}$  P,  $\overline{\text{AC}}$  B Als Nutzungsdauer ist in der Regel der Zeitraum festzulegen, in der ein Hochbau nach seiner vorgesehenen Funktion genutzt werden soll.

- (2)B Zur Festlegung der Lebensdauer von Hochbauten siehe EN 1990, Tabelle 2.1.

- (3)B Für Bauteile, die nicht für die gesamte Nutzungsdauer von Hochbauten bemessen werden können, siehe 2.1.3.3(3)B.

### 2.1.3.3 Dauerhaftigkeit von Hochbauten

(1)  $\overline{\text{AC}}$  P,  $\overline{\text{AC}}$  B Um die Dauerhaftigkeit von Hochbauten zu sichern, sind in der Regel die Tragwerke entweder gegen schädliche Umwelteinwirkungen und, wo notwendig, auf Ermüdungseinwirkungen zu bemessen oder auf andere Art vor diesen zu schützen.

(2)  $\overline{\text{AC}}$  P  $\overline{\text{AC}}$  B Können Materialverschleiß, Korrosion oder Ermüdung maßgebend werden,  $\overline{\text{AC}}$  müssen  $\overline{\text{AC}}$  geeignete Werkstoffwahl, nach EN 1993-1-4 und EN 1993-1-10, geeignete Gestaltung der Konstruktion nach EN 1993-1-9, strukturelle Redundanz (z. B. statische Unbestimmtheit des Systems) und geeigneter Korrosionsschutz berücksichtigt werden.

(3) B Falls bei einem Bauwerk Bauteile austauschbar sein sollen (z. B. Lager bei Bodensetzungen), ist in der Regel der sichere Austausch als vorübergehende Bemessungssituation nachzuweisen.

## 2.2 Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen

(1) Die in diesem Eurocode 3 festgelegten Beanspruchbarkeiten für Querschnitte und Bauteile für den Grenzzustand der Tragfähigkeit,  $\overline{\text{AC}}$  nach Abschnitt 3.3 der EN 1990, sind  $\overline{\text{AC}}$  aus Versuchen abgeleitet, bei denen der Werkstoff eine ausreichende Duktilität aufwies, so dass daraus vereinfachte Bemessungsmodelle abgeleitet werden konnten.

(2) Die in diesem Teil des Eurocodes festgelegten Beanspruchbarkeiten dürfen nur verwendet werden, wenn die Bedingungen für den Werkstoff nach Abschnitt 3 erfüllt sind.

## 2.3 Basisvariable

### 2.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

(1) Einwirkungen für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten sind in der Regel nach EN 1991 zu ermitteln. Für die Kombination von Einwirkungen und die Teilsicherheitsbeiwerte siehe EN 1990, Anhang A.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann Einwirkungen für besondere örtliche oder klimatische oder außergewöhnliche Einwirkungen festlegen.

ANMERKUNG 2B Zur proportionalen Erhöhung von Lasten bei inkrementellen Berechnungen, siehe Anhang AB.1.

ANMERKUNG 3B Zu vereinfachter Anordnung der Belastung, siehe Anhang AB.2.

(2) Für die Festlegung der Einwirkungen während der Bauzustände wird die Anwendung von EN 1991-1-6 empfohlen.

(3) Auswirkungen absehbarer Setzungen und Setzungsunterschiede sind in der Regel auf der Grundlage realistischer Annahmen zu berücksichtigen.

(4) Einflüsse aus ungleichmäßigen Setzungen, eingepprägten Verformungen oder anderen Formen von Vorspannungen während der Montage sind in der Regel durch ihren Nennwert  $P_k$  als ständige Einwirkung zu berücksichtigen. 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 festgelegt sind, sollten nach EN 1993-1-9, Anhang A ermittelt werden.

### 2.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften

(1) Werkstoffeigenschaften für Stahl und andere Bauprodukte und geometrische Größen für die Bemessung sind in der Regel den entsprechenden ENs, ETAGs oder ETAs zu entnehmen, sofern in dieser Norm keine andere Regelung vorgesehen ist.

## 2.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

### 2.4.1 Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften

(1)  $\overline{P}$  Für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten sind  $\overline{X_k}$  die charakteristischen Werte  $X_k$  oder die Nennwerte  $X_n$  der Werkstoffeigenschaft nach diesem Eurocode anzusetzen.

### 2.4.2 Bemessungswerte der geometrischen Größen

(1) Geometrische Größen für die Querschnitte und Abmessungen des Tragwerks dürfen den harmonisierten Produktnormen oder den Zeichnungen für die Ausführung nach EN 1090 entnommen werden. Sie sind als Nennwerte zu behandeln.

(2) Die in dieser Norm festgelegten Bemessungswerte der geometrischen Ersatzimperfektionen enthalten:

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

### 2.4.3 Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit

(1) Für Tragwerke aus Stahl gilt die folgende Definition nach EN 1990, Gleichung (6.6c) bzw. (6.6d):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} = \frac{1}{\gamma_M} R_k (\eta_1 X_{k,1}; \eta_i X_{k,i}; a_d) \quad (2.1)$$

Dabei ist

$R_k$  der charakteristische Wert einer Beanspruchbarkeit, der mit den charakteristischen Werten oder Nennwerten der Werkstoffeigenschaften und Abmessungen ermittelt wurde;

$\gamma_M$  der globale Teilsicherheitsbeiwert für diese Beanspruchbarkeit.

ANMERKUNG Zur Definition von  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $X_{k,1}$ ,  $X_{k,i}$  und  $a_d$  siehe EN 1990.

### 2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)

(1) Das Nachweisformat beim Nachweis der Lagesicherheit (EQU) nach EN 1990, Anhangs A, Tabelle 1.2 (A) gilt auch für Bemessungszustände mit ähnlichen Voraussetzungen wie bei (EQU), z. B. für die Bemessung von Verankerungen oder den Nachweis gegen das Abheben von Lagern bei Durchlaufträgern.

## 2.5 Bemessung mit Hilfe von Versuchen

(1) Die charakteristischen Beanspruchbarkeiten  $R_k$  dieser Norm wurden auf der Grundlage von EN 1990, Anhang D ermittelt.

(2) Um für Empfehlungen von Teilsicherheitsbeiwerten Gruppen (z. B. für verschiedene Schlankheitsbereiche) mit konstanten Zahlenwerten  $\gamma_{Mi}$  zu erreichen, wurden die charakteristischen Werte  $R_k$  bestimmt aus:

$$R_k = R_d \gamma_{Mi} \quad (2.2)$$

Dabei sind

$R_d$  die Bemessungswerte nach EN 1990, Anhang D;

$\gamma_{Mi}$  die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte.

ANMERKUNG 1 Die empfohlenen Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  wurden so berechnet, dass  $R_k$  ungefähr der 5 %-Fraktile einer Verteilung aus einer unendlichen Anzahl von Versuchsergebnissen entspricht.

ANMERKUNG 2 Zu den charakteristischen Bemessungswerten der Ermüdungsfestigkeit und zu den Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_{Mf}$  für die Ermüdungsnachweise siehe EN 1993-1-9.

ANMERKUNG 3 Zu den charakteristischen Bemessungswerten der Bauteilzähigkeit und den Sicherheitselementen für den Zähigkeitsnachweis siehe EN 1993-1-10.

(3) Für den Fall, dass bei Fertigteilen der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit  $R_d$  nur aus Versuchen ermittelt wird, werden die charakteristischen Werte für die Beanspruchbarkeit  $R_k$  in der Regel nach (2) ermittelt.

### **3 Werkstoffe**

#### **3.1 Allgemeines**

(1) Die in diesem Abschnitt angegebenen Nennwerte der Werkstoffeigenschaften sind in der Regel als charakteristische Werte bei der Bemessung anzunehmen.

(2) Die Entwurfs- und Bemessungsregeln dieses Teils von EN 1993 gelten für Tragwerke aus Stahl entsprechend den in Tabelle 3.1 aufgelisteten Stahlsorten.

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

#### **3.2 Baustahl**

##### **3.2.1 Werkstoffeigenschaften**

(1) Die Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für Baustahl sind in der Regel:

- a) entweder direkt als Werte  $\langle \overline{AC} \rangle f_y = R_{eH} \langle \overline{AC} \rangle$  und  $f_u = R_m$  aus der Produktnorm, oder
- b) vereinfacht der Tabelle 3.1 zu entnehmen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann zu a) oder b) eine Festlegung treffen.

##### **3.2.2 Anforderungen an die Duktilität**

(1) Für Stahl ist eine Mindestduktilität erforderlich, die durch Grenzwerte für folgende Kennwerte definiert sind:

- das Verhältnis  $f_u/f_y$  des spezifizierten Mindestwertes der Zugfestigkeit  $f_u$  zu dem spezifizierten Mindestwert der Streckgrenze  $f_y$ ;
- die auf eine Messlänge von  $5,65 \sqrt{A_0}$  bezogene Bruchdehnung (wobei  $A_0$  die Ausgangsquerschnittsfläche ist);
- die Gleichmaßdehnung  $\varepsilon_u$ , wobei  $\varepsilon_u$  der Zugfestigkeit  $f_u$  zugeordnet ist.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Grenzwerte für das  $f_u/f_y$ -Verhältnis, die Bruchdehnung und die Gleichmaßdehnung  $\varepsilon_u$  festlegen. Folgende Werte werden empfohlen:

- $f_u/f_y \geq 1,10$ ;
- Bruchdehnung mindestens 15 %;
- $\varepsilon_u \geq 15 \varepsilon_y$ , dabei ist  $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E}$  die Fließdehnung.

(2) Bei Erzeugnissen aus Stahlsorten nach Tabelle 3.1 darf vorausgesetzt werden, dass sie die aufgeführten Anforderungen erfüllen.

### 3.2.3 Bruchzähigkeit

(1) AC P AC Ausreichende Bruchzähigkeit des Werkstoffs ist Voraussetzung für die Vermeidung von Sprödbbruchversagen bei zugbeanspruchten Bauteilen. Der Bemessung liegt die voraussichtlich niedrigste Betriebstemperatur über die geplante Nutzungsdauer zugrunde.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die für die Bemessung anzunehmende niedrigste Betriebstemperatur angeben.

(2) Weitere Nachweise gegen Sprödbbruchversagen sind nicht erforderlich, wenn die Anforderungen in EN 1993-1-10 für die niedrigste Temperatur erfüllt sind.

(3) B Für druckbeanspruchte Bauteile des Hochbaus sollte ein Mindestwert der Zähigkeit gewählt werden.

ANMERKUNG B Der Nationale Anhang kann Informationen zur Wahl der Zähigkeit für druckbeanspruchte Bauteile geben. Es wird empfohlen, in diesem Fall EN 1993-1-10, Tabelle 2.1 für  $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$  anzuwenden.

(4) Zur Auswahl geeigneter Stähle für feuerverzinkte Bauteile ist EN AC ISO AC 1461 zu beachten.

Tabelle 3.1 — Nennwerte der Streckgrenze  $f_y$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für warmgewalzten Baustahl

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke $t$ mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	AC 490 AC	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	AC 490 AC	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
<b>EN 10210-1</b>				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
<b>EN 10219-1</b>				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

### 3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) Wenn Stahlerzeugnisse mit verbesserten Eigenschaften in Dickenrichtung nach EN 1993-1-10 erforderlich sind, so sind diese in der Regel nach den Qualitätsklassen in EN 10164 auszuwählen.

ANMERKUNG 1 EN 1993-1-10 gibt eine Anleitung zur Wahl der Eigenschaften in Dickenrichtung.

ANMERKUNG 2B Besondere Beachtung sollte geschweißten Träger-Stützen-Verbindungen sowie angeschweißten Kopfplatten mit Zug in der Dickenrichtung geschenkt werden.

ANMERKUNG 3B Der Nationale Anhang kann die maßgebende Zuordnung der Sollwerte  $Z_{Ed}$  nach EN 1993-1-10, 3.2(2) zu den Qualitätsklassen von EN 10164 angeben. Für Hochbauten wird eine Zuordnung nach Tabelle 3.2 empfohlen.

**Tabelle 3.2 — Stahlgütewahl nach EN 10164**

Sollwert von $Z_{Ed}$ nach EN 1993-1-10	Erforderliche Qualität $Z_{Rd}$ nach den Z-Werten nach EN 10164
$Z_{Ed} \leq 10$	—
$10 < Z_{Ed} \leq 20$	Z 15
$20 < Z_{Ed} \leq 30$	Z 25
$Z_{Ed} > 30$	Z 35

### 3.2.5 Toleranzen

(1) Die Toleranzen für Abmessungen und Massen von gewalzten Profilen, Hohlprofilen und Blechen haben in der Regel der maßgebenden Produktnorm, ETAG oder ETA zu entsprechen, sofern nicht strengere Toleranzforderungen bestehen.

(2) Bei geschweißten Bauteilen sind in der Regel die Toleranzen nach EN 1090 einzuhalten.

(3) Für die Tragwerksberechnung und die Bemessung sind in der Regel die Nennwerte der Abmessungen zu verwenden.

### 3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten

(1) Für die in diesem Teil des Eurocodes 3 geregelten Baustähle sind in der Regel folgende Werte für die Berechnung anzunehmen:

- 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  $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ je K (für } T \leq 100 \text{ °C)}$ .

ANMERKUNG Für die Berechnung von Zwängungen infolge ungleicher Temperatureinwirkung in Beton- und Stahlteilen von Stahlverbundbauwerken nach EN 1994 kann der Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha$  mit  $\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ je K}$  angenommen werden.

### **3.3 Verbindungsmittel**

#### **3.3.1 Schrauben, Bolzen, Nieten**

(1) Die Anforderungen sind in EN 1993-1-8 angegeben.

#### **3.3.2 Schweißwerkstoffe**

(1) Die Anforderungen an die Schweißwerkstoffe sind in EN 1993-1-8 angegeben.

### **3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau**

(1)B Teilvorgefertigte oder komplett vorgefertigte Produkte jeder Art, die im Hochbau verwendet werden, haben in der Regel der maßgebenden Produktnorm, der ETAG oder ETA zu entsprechen.

## **4 Dauerhaftigkeit**

(1) Grundlegende Anforderungen an die Dauerhaftigkeit sind in EN 1990 festgelegt.

(2) **AC** P **AC** Das Aufbringen des Korrosionsschutzes im Werk oder auf der Baustelle erfolgt in der Regel nach EN 1090.

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

(3) Bauteile, die anfällig sind gegen Korrosion, mechanische Abnutzung oder Ermüdung, sind in der Regel so zu konstruieren, dass die Bauwerksinspektion, Wartung und Instandsetzung in geeigneter Form möglich ist und Zugang für Inspektion und Wartung besteht.

(4)B Normalerweise sind für Hochbauten keine Ermüdungsnachweise erforderlich, außer für Bauteile mit Beanspruchungen aus:

- a) Hebevorrichtungen oder rollenden Lasten;
- b) wiederholten Spannungswechseln durch Maschinenschwingungen;
- c) windinduzierten Schwingungen;
- d) Schwingungen aus rhythmischer Bewegung von Personengruppen.

(5) **AC** P **AC** Für Bauteile, die nicht inspiziert werden können, sind geeignete dauerhafte Korrosionsschutzmaßnahmen zu ergreifen.

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

## **5 Tragwerksberechnung**

### **5.1 Statische Systeme**

#### **5.1.1 Grundlegende Annahmen**

(1) **AC** P **AC** Die statische Berechnung ist mit einem Berechnungsmodell zu führen, das für den zu betrachtenden Grenzzustand geeignet ist.

(2) Das Berechnungsmodell und die grundlegenden Annahmen für die Berechnung sind in der Regel so zu wählen, dass sie das Tragwerksverhalten im betrachteten Grenzzustand mit ausreichender Genauigkeit wiedergeben und dem erwarteten Verhalten der Querschnitte, der Bauteile, der Anschlüsse und der Lagerungen entsprechen.

(3)  $\overline{AC}$  P  $\overline{AC}$  Das Berechnungsverfahren entspricht den Bemessungsannahmen.

(4)B Zu Berechnungsverfahren und grundlegenden Annahmen für Bauteile von Hochbauten siehe auch EN 1993-1-5 und EN 1993-1-11.

### 5.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse

(1) Die Einflüsse der Last-Verformungen der Anschlüsse auf die Schnittgrößenverteilung und auf die Gesamtverformung des Tragwerks dürfen im Allgemeinen vernachlässigt werden. Sie sind jedoch in der Regel zu berücksichtigen, wenn sie, wie z. B. bei verformbaren Anschlüssen, maßgebend werden können, 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, siehe EN 1993-1-8, 5.1.1:

- gelenkige Anschlüsse, wenn angenommen werden darf, dass der Anschluss keine Biegemomente überträgt;
- biegesteife Anschlüsse, wenn die Steifigkeit und/oder die Tragfähigkeit des Anschlusses die Annahme biegesteif verbundener Bauteile in der Berechnung erlaubt;
- verformbare Anschlüsse, wenn das Verformungsverhalten der Anschlüsse bei der Bemessung berücksichtigt werden muss.

(3) Die Anforderungen an die verschiedenen Anschlusstypen sind in EN 1993-1-8 festgelegt.

### 5.1.3 Bauwerks-Boden-Interaktion

(1) Falls notwendig, sind die Verformungseigenschaften der Fundamente zu berücksichtigen.

ANMERKUNG EN 1997 enthält Verfahren zur Berechnung der Bauwerks-Boden-Interaktion.

## 5.2 Untersuchung von Gesamttragwerken

### 5.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung

(1) Die Schnittgrößen können im Allgemeinen entweder nach:

- Theorie I. Ordnung, unter Ansatz der Ausgangsgeometrie des Tragwerks, oder nach
- Theorie II. Ordnung, unter Berücksichtigung der Einflüsse aus der Tragwerksverformung.

berechnet werden.

(2) Die Einflüsse der Tragwerksverformungen (Einflüsse aus Theorie II. Ordnung) sind in der Regel zu berücksichtigen, wenn die daraus resultierende Vergrößerung der Schnittgrößen nicht mehr vernachlässigt werden darf oder das Tragverhalten maßgeblich beeinflusst wird.

(3) Die Berechnung nach Theorie I. Ordnung ist zulässig, wenn die durch Verformungen hervorgerufene Erhöhung der maßgebenden Schnittgrößen oder andere Änderungen des Tragverhaltens vernachlässigt werden können. Diese Anforderung darf als erfüllt angesehen werden, wenn die folgende Gleichung erfüllt ist:

$$\begin{aligned} \text{— } \alpha_{cr} &= \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ für die elastische Berechnung;} & (5.1) \\ \text{— } \alpha_{cr} &= \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ für die plastische Berechnung.} \end{aligned}$$

Dabei ist

$\alpha_{cr}$  der Faktor, mit dem die Bemessungswerte der Belastung erhöht werden müssten, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks zu erreichen;

$F_{Ed}$  der Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;

$F_{cr}$  die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks. Bei der Berechnung von  $F_{cr}$  ist von den elastischen Anfangssteifigkeiten auszugehen.

**ANMERKUNG** Für die plastische Berechnung ist in Gleichung (5.1) ein höherer Grenzwert für  $\alpha_{cr}$  festgelegt, da der Einfluss nichtlinearen Werkstoffverhaltens auf das Tragverhalten im Grenzzustand der Tragfähigkeit erheblich sein kann (z. B. bei Tragwerken mit Fließgelenken und Momentenumlagerung oder Einfluss nichtlinearer Verformungen von verformbaren Anschlüssen). Im Nationalen Anhang dürfen kleinere Werte für  $\alpha_{cr}$  bei bestimmten Rahmentragwerken festgelegt werden, wenn diese durch genauere Ansätze begründet sind.

(4)B Hallenrahmen mit geringer Dachneigung sowie Rahmentragwerke des Geschossbaus dürfen gegen Versagen mit seitlichem Ausweichen nach Theorie I. Ordnung nachgewiesen werden, wenn die Bedingung in Gleichung (5.1) für jedes Stockwerk eingehalten ist. Bei diesen Tragwerken **[AC]** sollte **[AC]**  $\alpha_{cr}$  nach folgender Näherung berechnet werden, wenn die Auswirkung der Normalkräfte in den Trägern oder Riegeln vernachlässigbar ist:

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (5.2)$$

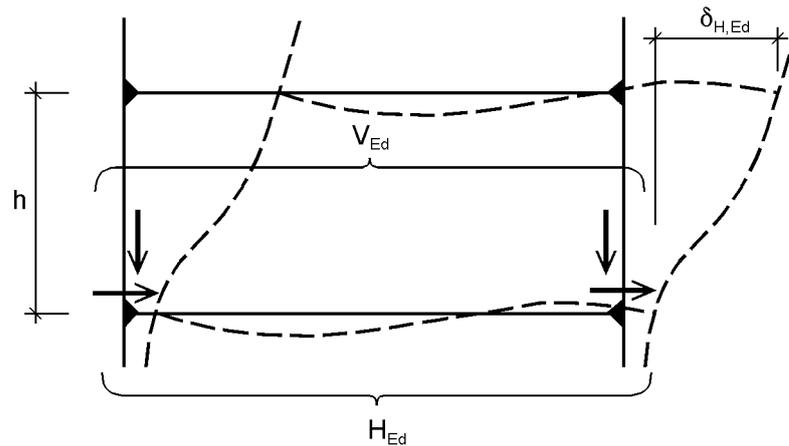
Dabei ist

$H_{Ed}$  **[AC]** Bemessungswert der gesamten horizontalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub), siehe 5.3.2.(7); **[AC]**

$V_{Ed}$  **[AC]** Bemessungswert der gesamten vertikalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub); **[AC]**

$\delta_{H,Ed}$  die Horizontalverschiebung der oberen Stockwerksknoten gegenüber den unteren Stockwerksknoten infolge horizontaler Lasten (z. B. Wind) und horizontalen Ersatzlasten, die am Gesamt-Rahmentragwerk angreifen;

$h$  die Stockwerkshöhe.



**Bild 5.1 — Bezeichnungen zu 5.2.1(4)**

ANMERKUNG 1B Als geringe Dachneigung darf bei der Anwendung von (4)B eine maximale Neigung von 1:2 (26°) angenommen werden.

ANMERKUNG 2B Die Auswirkung der Druckkraft  $\langle AC \rangle$  sollte  $\langle AC \rangle$  bei der Anwendung von (4)B berücksichtigt werden  $\langle AC \rangle$ , wenn der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  in den Trägern oder Riegeln unter Annahme gelenkiger Lagerung an den Enden folgende Gleichung erfüllt:

$\langle AC \rangle$

$$\bar{\lambda} \geq 0,3 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{Ed}}} \langle AC \rangle \quad (5.3)$$

Dabei ist

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

$\bar{\lambda}$  der Schlankheitsgrad in der Ebene. Träger oder Riegel werden unter Ansatz der Systemlänge als gelenkig gelagert angenommen.

(5) Mittragende Breiten und wirksame Breiten aus örtlichem Beulen sind in der Regel zu berücksichtigen, falls sie die globale Tragwerksberechnung beeinflussen, siehe EN 1993-1-5.

ANMERKUNG Bei gewalzten Profilen und geschweißten Profilen mit walzprofilähnlichen Abmessungen kann der Einfluss der mittragenden Breite vernachlässigt werden.

(6) Der Schlupf in Schraubenlöchern oder ähnliche Verformungen infolge Schlupf bei Kopfbolzendübeln oder Ankerbolzen sind in der Regel bei der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen, falls maßgebend.

## 5.2.2 Stabilität von Tragwerken

(1) Wenn der Einfluss der Verformung des Tragwerks nach 5.2.1 berücksichtigt werden muss, sind in der Regel (2) bis (6) zu beachten, um die Stabilität des Tragwerks nachzuweisen.

(2) Beim Nachweis der Stabilität von Tragwerken oder Tragwerksteilen sind in der Regel Imperfektionen und Einflüssen aus Theorie II. Ordnung zu berücksichtigen.

(3) Je nach Art des Tragwerks und der Tragwerksberechnung können die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung und Imperfektionen nach einer der folgenden Methoden berücksichtigt werden:

a) beide Einflüsse vollständig im Rahmen der Berechnung des Gesamttragwerkes;

- b) teilweise durch Berechnung des Gesamttragwerkes und teilweise durch Stabilitätsnachweise einzelner Bauteile nach 6.3;
- c) in einfachen Fällen durch Ersatzstabnachweise nach 6.3, wobei Knicklängen entsprechend der Knickfigur bzw. Eigenform des Gesamttragwerks verwendet werden.

(4) Einflüsse aus Theorie II. Ordnung können durch Anwendung eines für das Tragwerk geeigneten Berechnungsverfahrens ermittelt werden. Dies kann ein schrittweises oder iteratives Verfahren sein. Bei Rahmen, 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.

(5)B Einflüsse aus Theorie II. Ordnung auf die seitliche Verformung einstöckiger Rahmen, die nach der Elastizitätstheorie berechnet werden, darf durch Vergrößerung der horizontalen Einwirkungen  $H_{Ed}$  (z. B. Wind) und der horizontalen Ersatzlasten  $V_{Ed} \phi$  infolge Imperfektionen, siehe 5.3.2(7), sowie weiterer möglicher Schiefstellung erfasst werden, wobei der Faktor:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \tag{5.4}$$

beträgt, vorausgesetzt, dass gilt:

$$\alpha_{cr} \geq 3,0.$$

Hierbei darf

$\alpha_{cr}$  nach Gleichung (5.2) in 5.2.1(4)B berechnet werden, wenn die Dachneigung gering ist und die Druckkraft in den Trägern oder Riegel vernachlässigt werden darf, siehe 5.2.1(4)B.

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

(6)B Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken dürfen Einflüsse aus der Theorie II. Ordnung auf die seitliche Verformung mit dem Verfahren nach 5.2.2(5)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 B Zur Einschränkung des Verfahrens siehe auch 5.2.1(4)B.

- (7) Nach (3) ist die Stabilität der einzelnen Bauteile in der Regel wie folgt nachzuweisen:
- a) Wenn die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung in Einzelbauteilen und die maßgebenden Bauteilimperfektionen, siehe 5.3.4, vollständig in der Berechnung des Gesamttragwerkes berücksichtigt werden, sind keine weiteren Stabilitätsnachweise der einzelnen Bauteile nach 6.3 erforderlich.
  - b) Wenn die Einflüsse aus Theorie II. Ordnung in Einzelbauteilen oder bestimmte Bauteilimperfektionen (z. B. Bauteilimperfektionen für Biegeknicken oder Biegedrillknicken, siehe 5.3.4) nicht vollständig in der Berechnung des Gesamttragwerkes berücksichtigt werden, ist in der Regel die Stabilität der Einzelbauteile, die nicht in der globalen Tragwerksberechnung enthalten ist, unter Verwendung der maßgebenden Kriterien nach 6.3 zusätzlich nachzuweisen. Bei diesem Nachweis sind in der Regel die Randmomente und Kräfte des Einzelbauteils aus der Berechnung des Gesamttragwerkes einschließlich

der Einflüsse aus Theorie II. Ordnung und globalen Imperfektionen, siehe 5.3.2, zu berücksichtigen. Darüber hinaus darf als Knicklänge des Einzelbauteils die Systemlänge angesetzt werden.

(8) Wird die Stabilität von Tragwerken durch einen Ersatzstabnachweis nach 6.3 nachgewiesen, ist die Knicklänge aus der Knickfigur des Gesamttragwerks zu ermitteln; dabei sind die Steifigkeit der Bauteile und Verbindungen, das Ausbilden von Fließgelenken sowie die Verteilung der Druckkräfte mit den Bemessungswerten der Einwirkungen zu berücksichtigen. In diesem Fall können die Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ohne Ansatz von Imperfektionen ermittelt werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang darf den Anwendungsbereich festlegen.

## 5.3 Imperfektionen

### 5.3.1 Grundlagen

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

(2) In den Berechnungen sollten äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen, siehe 5.3.2 und 5.3.3, 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 5.3.4.

(3) Folgende Imperfektionen sind in der Regel anzusetzen:

- a) Imperfektionen für Gesamttragwerke und aussteifende Systeme;
- b) örtliche Imperfektionen für einzelne Bauteile.

### 5.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung

(1) Die anzunehmende Form der Imperfektionen eines Gesamttragwerkes und örtlicher Imperfektionen eines Tragwerks kann aus der Form der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden.

(2) Knicken, sowohl in als auch aus der Ebene, einschließlich Drillknicken mit symmetrischen und antimetrischen Knickfiguren ist in der Regel in der ungünstigsten Richtung und Form zu berücksichtigen.

(3) Bei Tragwerken, deren Eigenform durch eine seitliche Verschiebung charakterisiert ist, können in der Regel die Einflüsse der Imperfektionen bei der Berechnung durch eine äquivalente Ersatzvorverformung in Form einer Anfangsschiefstellung des Tragwerks und der Vorkrümmung der einzelnen Bauteile berücksichtigt werden. Die Imperfektionen sind dann wie folgt zu ermitteln:

a) globale Anfangsschiefstellung, siehe Bild 5.2:

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (5.5)$$

Dabei ist

$\phi_0$  der Ausgangswert:  $\phi_0 = 1/200$ ;

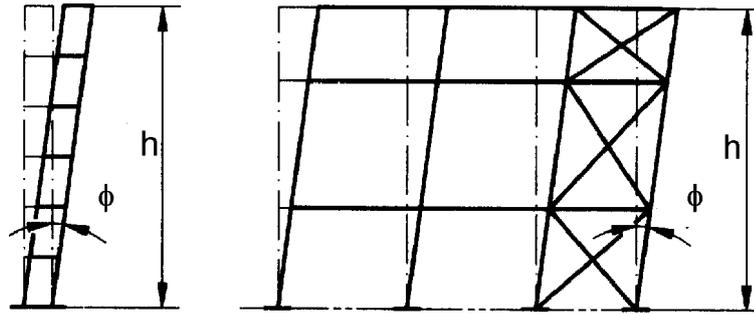
$\alpha_h$  der Abminderungsfaktor für die Höhe  $h$  von Stützen:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ jedoch } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$h$  die Höhe des Tragwerks, in m;

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

$m$  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.



**Bild 5.2 — Äquivalente Stützenschiefstellung**

b) eingeprägte Vorkrümmung von Bauteilen

$$e_{0,d}/L \tag{5.6}$$

Dabei ist  $L$  die Bauteillänge.

ANMERKUNG Die Werte  $e_{0,d}/L$  können dem Nationalen Anhang entnommen werden. Empfohlene Werte sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

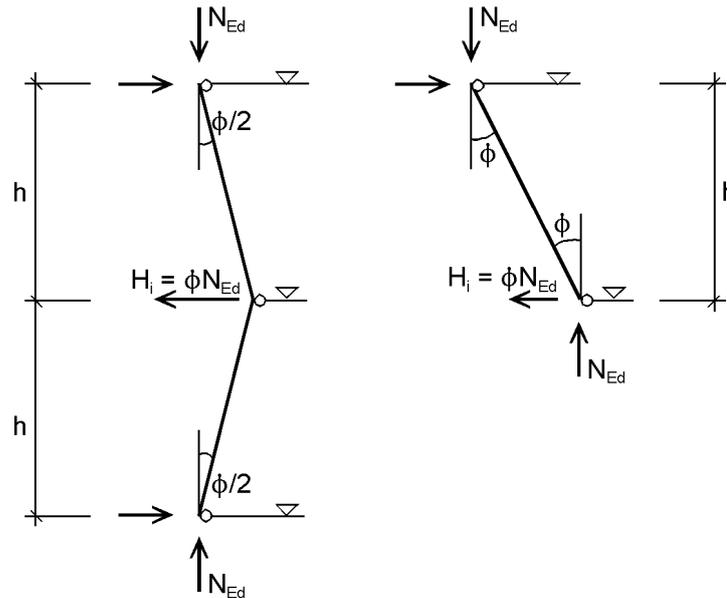
**Tabelle 5.1 — Bemessungswerte der Vorkrümmung  $e_0/L$  von Bauteilen**

Knicklinie nach Tabelle 6.2	elastische Berechnung	plastische Berechnung
	$e_{0,d}/L$	$e_{0,d}/L$
a <sub>0</sub>	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

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

$$\boxed{AC} H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed} \boxed{AC} \tag{5.7}$$

(5)B Für die Bestimmung der horizontalen Kräfte auf aussteifende Deckenscheiben ist in der Regel die Anordnung der Imperfektionen nach Bild 5.3 zu verwenden, dabei ist  $\phi$  die mit Gleichung (5.5) ermittelte Anfangsschiefstellung eines Stockwerks mit der Höhe  $h$ , siehe (3) a).



**Bild 5.3 — Anordnung der Anfangsschiefstellung  $\phi$  für Horizontalkräfte auf aussteifende Deckenscheiben**

(6) Für die Berechnung der Schnittgrößen an Enden von Bauteilen für den Bauteilnachweis nach 6.3 dürfen in der Regel lokale Vorkrümmungen vernachlässigt werden. Bei Tragwerken, die empfindlich auf Verformungen reagieren, siehe 5.2.1(3), sind in der Regel für jedes Bauteil mit Druckbeanspruchung zusätzlich lokale Vorkrümmungen anzusetzen, wenn folgende Bedingungen gelten:

— mindestens ein Bauteilende ist eingespannt bzw. biegesteif verbunden;

$$— \bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{Ed}}} \quad (5.8)$$

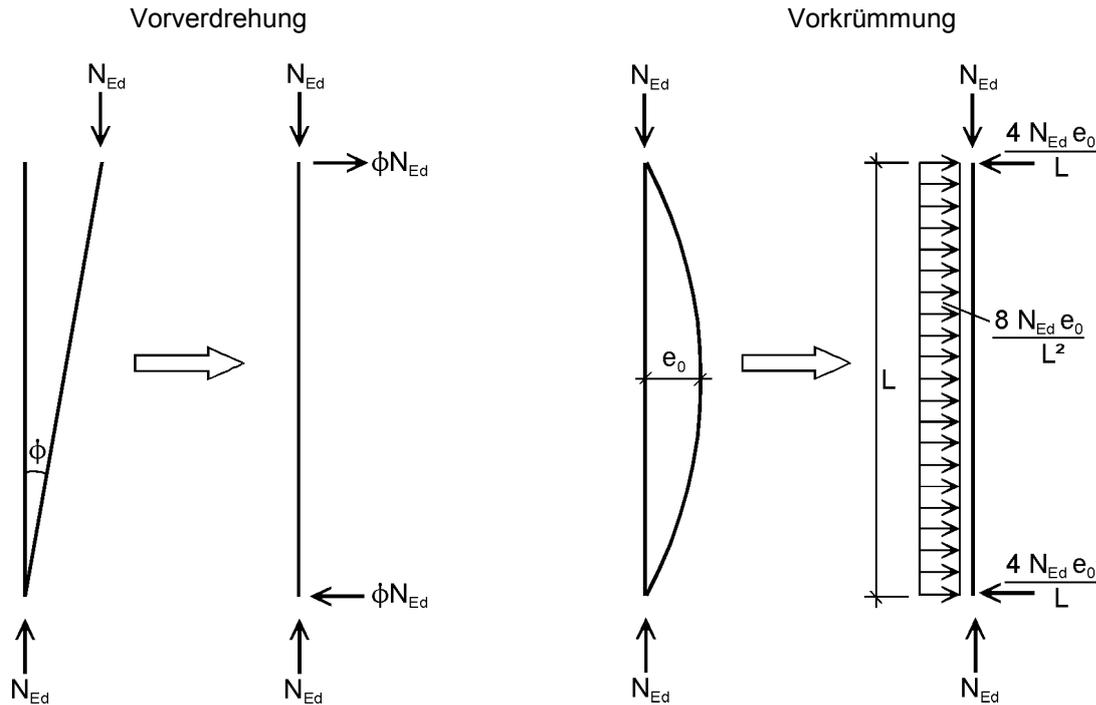
Dabei ist

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

$\bar{\lambda}$  der Schlankheitsgrad des Bauteils in der betrachteten Ebene, der mit der Annahme beidseitig gelenkiger Lagerung ermittelt wird.

ANMERKUNG Lokale Vorkrümmungen sind bereits in den Gleichungen für Bauteilnachweise berücksichtigt, siehe 5.2.2(3) und 5.3.4.

(7) Die Wirkungen der Anfangsschiefstellungen und Bauteilvorkrümmungen dürfen durch Systeme äquivalenter horizontaler Ersatzlasten an jeder Stütze ersetzt werden, siehe Bild 5.3 und Bild 5.4.

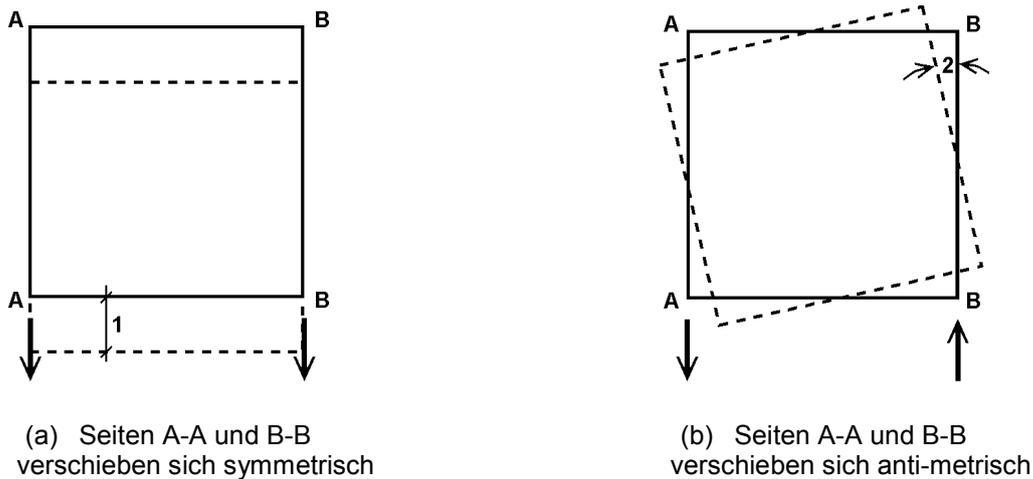


**Bild 5.4 — Ersatz der Vorverformungen durch äquivalente horizontale Ersatzlasten**

(8) Diese Vorverformungen sind in der Regel jeweils in allen maßgebenden Richtungen zu untersuchen, brauchen aber nur in einer Richtung gleichzeitig betrachtet zu werden.

(9)B Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken mit Trägern und Stützen sind in der Regel die äquivalenten Ersatzkräfte für jedes Stockwerk und das Dach anzusetzen.

(10) Die möglichen Einflüsse aus Torsion infolge gleichzeitig auftretender anti-metrischer Verschiebungen auf zwei gegenüberliegenden Seiten sind in der Regel zu beachten, siehe Bild 5.5.



**Legende**

- 1 Verschiebung
- 2 Verdrehung

**Bild 5.5 — Verschiebungsmöglichkeiten und Einflüsse aus Torsion (Draufsicht)**

(11) Alternativ zu (3) und (6) darf die Form der maßgebenden Eigenfigur  $\eta_{cr}$  für das gesamte Tragwerk als Imperfektionsfigur angesetzt werden. Die maximale Amplitude dieser Imperfektionsfigur darf wie folgt ermittelt werden:

$$\boxed{\text{AC}} \eta_{\text{init}} = e_{0,d} \frac{N_{cr}}{EI \left| \eta_{cr} \right|_{\text{max}}} \eta_{cr} = \frac{e_{0,d}}{\bar{\lambda}^2} \frac{N_{Rk}}{EI \left| \eta_{cr} \right|_{\text{max}}} \eta_{cr} \quad \boxed{\text{AC}} \quad (5.9)$$

$$\text{mit } e_{0,d} = \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}} \frac{1 - \chi \bar{\lambda}^2}{1 - \chi \bar{\lambda}^2} \frac{\gamma_{M1}}{1 - \chi \bar{\lambda}^2} \quad \text{für } \bar{\lambda} > 0,2 \quad (5.10)$$

$$\text{und } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{ult,k}}}{\alpha_{cr}}} \quad (5.11)$$

Dabei ist

- $\bar{\lambda}$  der Schlankheitsgrad des Tragwerks;
- $\alpha$  der Imperfektionsbeiwert der zutreffenden Knicklinie, siehe Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2;
- $\chi$  der Abminderungsfaktor der zutreffenden Knicklinie abhängig vom maßgebenden Querschnitt, siehe 6.3.1;
- $\alpha_{\text{ult,k}}$  der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte  $N_{Ed}$  in den Bauteilen, um den charakteristischen Widerstand  $N_{Rk}$  des maximal beanspruchten Querschnitts zu erreichen, ohne jedoch das Knicken selbst zu berücksichtigen;
- $\alpha_{cr}$  der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte  $N_{Ed}$ , um  $\boxed{\text{AC}}$  ideale Verzweigungslast  $\boxed{\text{AC}}$  zu erreichen;
- $M_{Rk}$  die charakteristische Momententragfähigkeit des kritischen Querschnitts, z. B.  $M_{el,Rk}$  oder  $M_{pl,Rk}$ ;
- $N_{Rk}$  die charakteristische Normalkrafttragfähigkeit des kritischen Querschnitts, z. B.  $N_{pl,Rk}$ ;
- $\eta_{cr}$  die Form der Knickfigur;

$EI \left| \eta_{cr} \right|_{\text{max}}$  das Biegemoment infolge  $\eta_{cr}$  am kritischen Querschnitt.

ANMERKUNG 1 Für die Berechnung der Vergrößerungsfaktoren  $\alpha_{\text{ult,k}}$  und  $\alpha_{cr}$  kann davon ausgegangen werden, dass die Bauteile des Tragwerks ausschließlich durch axiale Kräfte  $N_{Ed}$  beansprucht werden.  $N_{Ed}$  sind dabei die nach Theorie I. Ordnung berechneten Kräfte für den betrachteten Lastfall. Biegemomente können vernachlässigt werden.

$\boxed{\text{AC}}$  Für die elastische Tragwerksberechnung und plastische Querschnittsprüfung sollte die lineare Gleichung

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

angewendet werden.  $\boxed{\text{AC}}$

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Informationen zum Anwendungsbereich von (11) geben.

### 5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme

(1) Bei der Berechnung aussteifender Systeme, die zur seitlichen Stabilisierung von Trägern oder druckbeanspruchter Bauteile benötigt werden, ist in der Regel der Einfluss der Imperfektionen der auszusteifenden Bauteile durch äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen in Form von Vorkrümmungen zu berücksichtigen:

$$e_0 = \alpha_m L/500 \quad (5.12)$$

Dabei ist

$L$  die Spannweite des aussteifenden Systems;

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)} \quad \text{der Abminderungsfaktor;}$$

$m$  die Anzahl der auszusteifenden Bauteile.

(2) Zur Vereinfachung darf der Einfluss der Vorkrümmung der durch das aussteifende System stabilisierten Bauteile durch äquivalente stabilisierende Ersatzkräfte nach Bild 5.6 ersetzt werden:

$$q = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad (5.13)$$

Dabei ist

$\delta_q$  die Durchbiegung des aussteifenden Systems in seiner Ebene infolge  $q$  und weiterer äußerer Einwirkungen gerechnet nach Theorie I. Ordnung.

ANMERKUNG  $\delta_q$  darf 0 gesetzt werden, falls nach Theorie II. Ordnung gerechnet wird.

(3) Wird das aussteifende System zur Stabilisierung des druckbeanspruchten Flansches eines Trägers mit konstanter Höhe eingesetzt, kann die Kraft  $N_{Ed}$  in Bild 5.6 wie folgt ermittelt werden:

$$N_{Ed} = M_{Ed}/h \quad (5.14)$$

Dabei ist

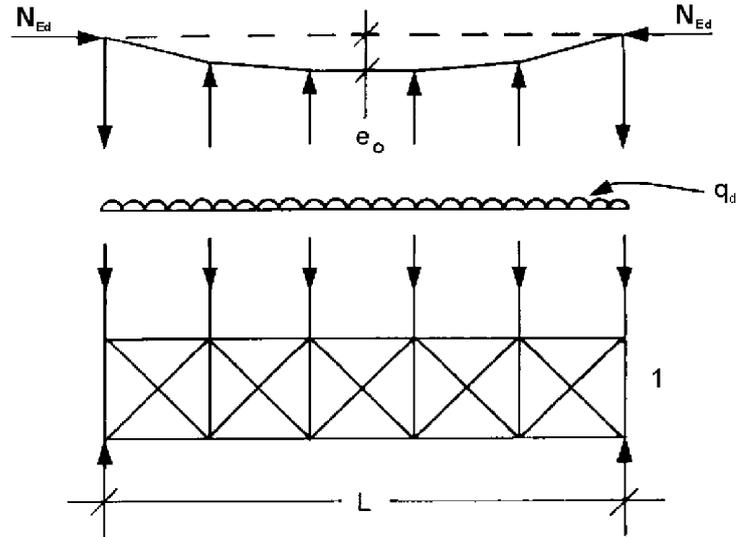
$M_{Ed}$  das maximale einwirkende Biegemoment des Trägers;

$h$  die Gesamthöhe des Trägers.

ANMERKUNG Im Falle eines durch eine zusätzliche Drucknormalkraft beanspruchten Trägers enthält  $N_{Ed}$  auch einen Teil der Beanspruchung aus der einwirkenden Normalkraft enthalten.

(4) An Stößen von Trägern oder von druckbeanspruchten Bauteilen ist zusätzlich nachzuweisen, dass das aussteifende System eine am Stoßpunkt angreifende lokale Kraft von  $\alpha_m N_{Ed}/100$  von jedem Träger oder druckbeanspruchten Bauteil aufnehmen kann, welcher am gleichen Punkt gestoßen ist. Die Weiterleitung dieser Kräfte zu den nächsten Haltepunkten der Träger oder druckbeanspruchten Bauteile ist ebenfalls nachzuweisen, siehe Bild 5.7.

(5) Bei dem Nachweis der lokalen Kräfte nach (4) sind auch alle anderen äußeren Kräfte zu berücksichtigen werden, die auf das aussteifende System wirken, wobei die Kräfte aus dem Einfluss der Imperfektion aus (1) vernachlässigt werden dürfen.

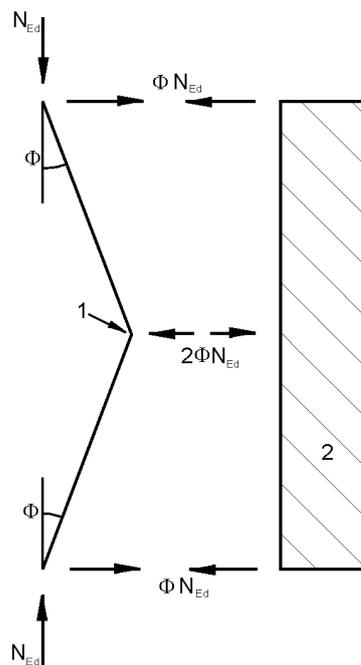


**Legende**

- $e_0$  Imperfektion
- $q_d$  äquivalente Kräfte je Längeneinheit
- 1 aussteifendes System

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

**Bild 5.6 — Äquivalente stabilisierende Ersatzkräfte**



$$\Phi = \alpha_m \Phi_0 : \Phi_0 = 1/200$$

$$2\Phi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed}/100$$

**Legende**

- 1 Stoß
- 2 aussteifendes System

**Bild 5.7 — Lokale Ersatzkräfte an Stößen in druckbeanspruchten Bauteilen**

### **5.3.4 Bauteilimperfectionen**

(1) Die Einflüsse von Bauteilimperfectionen sind in den Gleichungen für die Stabilitätsnachweise von Bauteilen nach 6.3 enthalten.

(2) Wenn die Stabilitätsnachweise von Bauteilen nach Theorie II. Ordnung entsprechend 5.2.2 (7) a) geführt werden, ist die Imperfektion für druckbeanspruchte Bauteile  $e_0$  in der Regel nach 5.3.2 (3) b), 5.3.2 (5) oder 5.3.2 (6) zu berücksichtigen.

(3) Bei einem Biegedrillknicknachweis von biegebeanspruchten Bauteilen nach Theorie II. Ordnung darf die Imperfektion mit  $k e_{0,d}$  angenommen werden, wobei  $e_{0,d}$  die äquivalente Vorkrümmung um die schwache Achse des betrachteten Profils ist. Im Allgemeinen braucht keine weitere Torsionsimperfektion betrachtet zu werden.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann den Wert von  $k$  festlegen. Der Wert von  $k = 0,5$  wird empfohlen.

## **5.4 Berechnungsmethoden**

### **5.4.1 Allgemeines**

(1) Die Schnittgrößen können nach einer der beiden folgenden Methoden ermittelt werden:

- a) elastische Tragwerksberechnung;
- b) plastische Tragwerksberechnung.

ANMERKUNG Zu Finite Element (FEM)-Berechnungen siehe EN 1993-1-5.

(2) Die elastische Tragwerksberechnung darf in allen Fällen angewendet werden.

(3) Eine plastische Tragwerksberechnung darf nur dann durchgeführt werden, wenn das Tragwerk über ausreichende Rotationskapazität an den Stellen verfügt, an denen sich die plastischen Gelenke bilden, sei es in Bauteilen oder in Anschlüssen.

An den Stellen plastischer Gelenke in Bauteilen sollte der Bauteilquerschnitt doppelt-symmetrisch oder einfach-symmetrisch mit einer Symmetrieebene in der Rotationsebene des plastischen Gelenkes sein und zusätzlich den in 5.6 festgelegten Anforderungen entsprechen.

Tritt ein plastisches Gelenk an einem Anschluss auf, sollte der Anschluss entweder ausreichende Festigkeit haben, damit sich das plastische Gelenk im Bauteil bildet, oder er sollte seine plastische Festigkeit über eine ausreichende Rotation beibehalten können, siehe EN 1993-1-8.

(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 müssen dann 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, Querschnitte der Klasse 1 oder 2 (siehe 5.5) aufweisen;
- c) Biegedrillknicken verhindert ist.

#### 5.4.2 Elastische Tragwerksberechnung

(1) Bei einer elastischen Tragwerksberechnung ist in der Regel davon auszugehen, dass die Spannungs-Dehnungsbeziehung des Materials in jedem Spannungszustand linear verläuft.

ANMERKUNG Bei der Wahl des Modells für verformbare Anschlüsse siehe **AC** 5.1.2 **AC** .

(2) Schnittgrößen dürfen mit elastischen Berechnungsverfahren ermittelt werden, auch wenn die Querschnittsbeanspruchbarkeiten plastisch ermittelt sind, siehe 6.2.

(3) Eine elastische Tragwerksberechnung darf auch für Querschnitte verwendet werden, deren Beanspruchbarkeit durch lokales Beulen begrenzt wird, siehe 6.2.

#### 5.4.3 Plastische Tragwerksberechnung

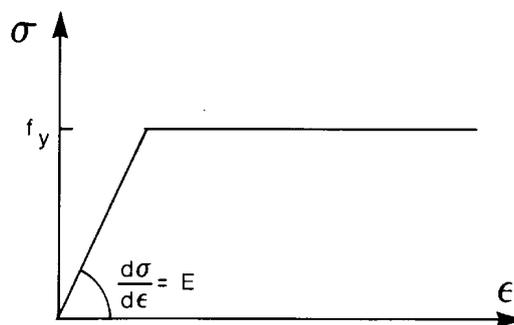
(1) Die plastische Tragwerksberechnung berücksichtigt die Einflüsse aus nichtlinearem Werkstoffverhalten bei der Ermittlung der Schnittgrößen. Die Tragwerksberechnung sollte nach einer der folgenden Methoden erfolgen:

- durch das elastisch-plastische Fließgelenkverfahren mit voll plastizierten Querschnitten in den Fließgelenken und/oder Anschlüssen, die als Fließgelenke wirken;
- durch eine nichtlineare plastische Berechnung, die Teilplastizierung von Bauteilen in Fließzonen berücksichtigt;
- durch das starr-plastische Fließgelenkverfahren, das das elastische Verhalten zwischen den Fließgelenken vernachlässigt.

(2) Eine plastische Tragwerksberechnung darf durchgeführt werden, wenn die Bauteile in der Lage sind, genügende Rotationskapazität zu entwickeln, um die erforderliche Momentenumlagerung durchzuführen, siehe 5.5 und 5.6.

(3) Eine plastische Tragwerksberechnung sollte nur durchgeführt werden, wenn die Stabilität der Bauteile an plastischen Gelenken gesichert ist, siehe 6.3.5.

(4) Für die plastische Berechnung darf die bi-lineare Spannungs-Dehnungsbeziehung nach Bild 5.8 für alle in Abschnitt 3 spezifizierten Stahlgüten verwendet werden. Alternativ darf eine genauere Beziehung angenommen werden, siehe EN 1993-1-5.



**Bild 5.8 — Bi-lineare Spannungs-Dehnungsbeziehung**

(5) Das starr-plastische Fließgelenkverfahren darf angewendet werden, wenn keine Einflüsse aus dem verformten System (z. B. Einflüsse der Theorie II. Ordnung) berücksichtigt werden müssen. In diesem Falle werden die Anschlüsse nur nach ihrer Festigkeit klassifiziert, siehe EN 1993-1-8.

(6) Die Einflüsse des verformten Systems und die Stabilität des Tragwerks sind in der Regel nach den Grundsätzen in 5.2 nachzuweisen.

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

## **5.5 Klassifizierung von Querschnitten**

### **5.5.1 Grundlagen**

(1) Mit der Klassifizierung von Querschnitten soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnittsteilen festgestellt werden.

### **5.5.2 Klassifizierung**

(1) Es werden vier Querschnittsklassen definiert:

- Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastischen Berechnung ausbilden;
- Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulens nur eine begrenzte Rotationskapazität;
- Querschnitte der Klasse 3 erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln;
- Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.

(2) Bei Querschnitten der Klasse 4 dürfen effektive Breiten verwendet werden, um die Abminderung der Beanspruchbarkeit infolge lokalen Beulens zu berücksichtigen, siehe EN 1993-1-5, **AC** 4.4 **AC**.

(3) Die Klassifizierung eines Querschnittes ist vom  $clt$ -Verhältnis seiner druckbeanspruchten Teile abhängig.

(4) Druckbeanspruchte Querschnittsteile können entweder vollständig oder teilweise unter der zu untersuchenden Einwirkungskombination Druckspannungen aufweisen.

(5) Die verschiedenen druckbeanspruchten Querschnittsteile (wie z. B. Steg oder Flansch) können im Allgemeinen verschiedenen Querschnittsklassen zugeordnet werden.

(6) Ein Querschnitt wird durch die höchste (ungünstigste) Klasse seiner druckbeanspruchten Querschnittsteile klassifiziert. Ausnahmen sind in 6.2.1(10) und 6.2.2.4(1) angegeben.

(7) Alternativ ist es zulässig, die Klasse eines Querschnitts durch Klassifizierung der Flansche sowie des Steges festzulegen.

(8) Die Grenzabmessungen druckbeanspruchter Querschnittsteile für die Klassen 1, 2, und 3 können der Tabelle 5.2 entnommen werden. Querschnittsteile, die die Anforderungen der Querschnittsklasse 3 nicht erfüllen, sollten in Querschnittsklasse 4 eingestuft werden.

(9) Mit Ausnahme der Fälle in (10) ist es möglich, Querschnitte der Klasse 4 wie Querschnitte der Klasse 3 zu behandeln, falls das  $clt$ -Verhältnis, das nach Tabelle 5.2 mit einer Erhöhung von  $\varepsilon$  um  $\sqrt{\frac{f_y / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}}$  ermittelt

wird, kleiner als die Grenze für Klasse 3 ist. Dabei ist  $\sigma_{com,Ed}$  der größte Bemessungswert der einwirkenden Druckspannung im Querschnittsteil, die nach Theorie I. Ordnung oder, falls notwendig, nach Theorie II. Ordnung ermittelt wird.

(10) Es sollten jedoch für Stabilitätsnachweise eines Bauteils nach 6.3 immer die Grenzabmessungen der Klasse 3 Tabelle 5.2 ohne Erhöhung von  $\varepsilon$  verwendet werden.

(11) Querschnitte mit Klasse-3-Steg und Klasse-1- oder Klasse-2-Gurten dürfen als Klasse-2-Querschnitte mit einem wirksamen Steg nach 6.2.2.4 eingestuft werden.

(12) Wenn der Steg nur für die Schubkraftübertragung vorgesehen ist und nicht zur Abtragung von Biegemomenten und Normalkräften eingesetzt wird, darf der Querschnitt alleine abhängig von der Einstufung der Gurte den Klassen 2, 3 oder 4 zugeordnet werden.

ANMERKUNG Zu flanschinduziertem Stegbeulen, siehe EN 1993-1-5.

## 5.6 Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung

(1) An Stellen, an denen sich Fließgelenke ausbilden können, müssen die Querschnitte des Bauteils in der Regel eine entsprechende Rotationskapazität aufweisen.

(2) Die Momenten-Rotationskapazität kann bei Bauteilen mit konstantem Querschnitt als ausreichend angenommen werden, wenn folgende Anforderungen erfüllt sind:

- a) das Bauteil weist an den Stellen der Fließgelenke einen Querschnitt der Klasse 1 auf;
- b) wirken an den Fließgelenken innerhalb eines Bereichs von  $h/2$  Einzellasten quer zur Trägerachse, so sind im Abstand von maximal  $h/2$  vom Fließgelenk Stegsteifen anzuordnen, wenn die Einzellasten 10 % der Schubtragfähigkeit des Querschnitts überschreiten, siehe 6.2.6;  $h$  ist die Querschnittshöhe  $h$ .

(3) Falls sich der Querschnitt des Bauteils entlang seiner Längsachse verändert, sind in der Regel folgende zusätzliche Anforderungen zu erfüllen:

- a) Im Bereich eines Fließgelenks darf die Dicke des Steges in einer Entfernung von mindestens  $2d$  in beide Richtungen vom Fließgelenk nicht reduziert werden, wobei  $d$  die lichte Steghöhe am Fließgelenk ist;
- b) Im Bereich eines Fließgelenks muss der druckbeanspruchte Gurt der Querschnittsklasse 1 angehören. Als maßgebende Entfernung ist der größere der folgenden Werte zu verwenden:
  - $2d$ , wobei  $d$  wie in (3)a) definiert ist;
  - der Abstand bis zu dem Punkt, an dem das Moment auf den 0,8-fachen Wert der plastischen Momententragfähigkeit am Fließgelenk gesunken ist.
- c) Außerhalb der Fließgelenkbereiche eines Bauteils müssen die druckbeanspruchten Gurte der Querschnittsklasse 1 oder 2 und die Stege der Querschnittsklasse 1, 2 oder 3 entsprechen.

(4) Angrenzend an ein Fließgelenk müssen die Löcher in zugbeanspruchten Trägerflanschen innerhalb eines Abstands nach (3)b) in jeder Richtung vom Fließgelenk den Anforderungen nach 6.2.5(4) entsprechen.

(5) Falls eine plastische Bemessung eines Rahmens unter Beachtung der Querschnittsanforderungen durchgeführt wird, darf das plastische Umlagerungsvermögen als ausreichend angenommen werden, wenn die Anforderungen nach (2) bis (4) für alle Bauteile, in denen Fließgelenke unter den Bemessungswerten der Einwirkungen auftreten können, erfüllt sind.

(6) Falls eine plastische Tragwerksberechnung durchgeführt wird, welche das tatsächliche Spannungs- und Dehnungsverhalten entlang der Längsachse des Bauteils einschließlich lokalem Beulen und globalem Knicken des Bauteils und des Tragwerks berücksichtigt, ist es nicht erforderlich die Anforderung (2) bis (5) zu erfüllen.

Tabelle 5.2 — Maximales  $clt$ -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

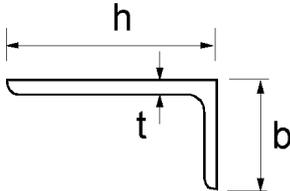
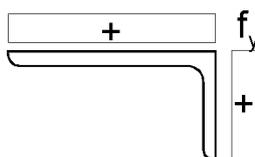
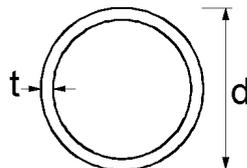
Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile						
						Biegeachse
						Biegeachse
Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile		auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
1	$clt \leq 72\varepsilon$	$clt \leq 33\varepsilon$		für $\alpha > 0,5$ : $clt \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$ : $clt \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$		
2	$clt \leq 83\varepsilon$	$clt \leq 38\varepsilon$		für $\alpha > 0,5$ : $clt \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$ : $clt \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
3	$clt \leq 124\varepsilon$	$clt \leq 42\varepsilon$		für $\psi > -1$ : $clt \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi \leq -1^a$ : $clt \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$		
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

<sup>a</sup> Es gilt  $\psi \leq -1$  falls entweder die Druckspannungen  $\sigma \leq f_y$  oder die Dehnungen infolge Zug  $\varepsilon_y > \frac{f_y}{E}$  sind.

Tabelle 5.2 (fortgesetzt) — Maximales  $clt$ -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

Einseitig gestützte Flansche							
Gewalzte Querschnitte			Geschweißte Querschnitte				
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile					
		freier Rand im Druckbereich		freier Rand im Zugbereich			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
1	$clt \leq 9\varepsilon$	$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$				
2	$clt \leq 10\varepsilon$	$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$				
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3	$clt \leq 14\varepsilon$	$clt \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$					
		Für $k_\sigma$ siehe EN 1993-1-5					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$		$f_y$	235	275	355	420	460
		$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tabelle 5.2 (fortgesetzt) — Maximales *clt*-Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile

Klasse		auf Druck beanspruchte Querschnittsteile					
Winkel 		Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ in Tabelle 5.2, oben					
		gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen					
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3		$h/t \leq 15\varepsilon$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">AC</span> und <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">AC</span> $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
Klasse		auf Biegung und/oder Druck beanspruchte Querschnittsteile					
		Runde Hohlquerschnitte 					
1		$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2		$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3		$d/t \leq 90\varepsilon^2$ ANMERKUNG Für $d/t > 90\varepsilon^2$ siehe EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$		$f_y$	235	275	355	420	460
		$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
		$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

## 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit

### 6.1 Allgemeines

(1) Die charakteristischen Werte der Beanspruchbarkeit, die in diesem Abschnitt angegeben werden, werden mit den in 2.4.3 definierten Teilsicherheitsbeiwerten  $\gamma_M$  wie folgt abgemindert werden:

- die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse):  $\gamma_{M0}$
- die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen):  $\gamma_{M1}$

- die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung:  $\gamma_{M2}$
- die Beanspruchbarkeit von Anschlüssen: siehe EN 1993-1-8

ANMERKUNG 1 Weitere Empfehlungen für Zahlenwerte sind in EN 1993-2 bis EN 1993-6 zu finden. Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  für Tragwerke, die nicht durch EN 1993-2 bis EN 1993-6 erfasst werden, sind im Nationalen Anhang festgelegt; es wird die Verwendung der Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  nach EN 1993-2 empfohlen.

ANMERKUNG 2B Der Nationale Anhang kann die Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_{Mi}$  für Hochbauten festlegen. Folgende Zahlenwerte werden empfohlen:

$$\gamma_{M0} = 1,00;$$

$$\gamma_{M1} = 1,00;$$

$$\gamma_{M2} = 1,25.$$

## 6.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten

### 6.2.1 Allgemeines

(1)  $\square$  P  $\square$  Der Bemessungswert der Beanspruchung darf in keinem Querschnitt den zugehörigen Bemessungswert der Beanspruchbarkeit überschreiten. Falls mehrere Beanspruchungsarten gleichzeitig auftreten, gilt diese Forderung auch für die Kombination dieser Beanspruchungen.

(2) Dabei sind in der Regel die mittragende Breite und die mitwirkende Breite infolge lokalen Beulens nach EN 1993-1-5 zu berücksichtigen. Ferner sollte Schubbeulen nach EN 1993-1-5 betrachtet werden.

(3) Die Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit hängen von der Querschnittsklassifizierung ab.

(4) Ein Nachweis nach Elastizitätstheorie entsprechend der elastischen Beanspruchbarkeit ist für alle Querschnittsklassen möglich, sofern für Querschnitte der Klasse 4 die wirksamen Querschnittswerte angesetzt werden.

(5) Für den Nachweis nach Elastizitätstheorie darf das folgende Fließkriterium für den kritischen Punkt eines Querschnitts verwendet werden, wenn nicht andere Interaktionsformeln vorgezogen werden, siehe 6.2.8 bis 6.2.10.

$$\left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 - \left( \frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) \left( \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) + 3 \left( \frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1 \quad (6.1)$$

Dabei ist

$\sigma_{x,Ed}$  der Bemessungswert der Normalspannung in Längsrichtung am betrachteten Punkt;

$\sigma_{z,Ed}$  der Bemessungswert der Normalspannung in Querrichtung am betrachteten Punkt;

$\tau_{Ed}$  der Bemessungswert der Schubspannung am betrachteten Punkt.

ANMERKUNG Die Nachweisführung nach (5) kann konservativ sein, da sie die teilweise plastischen Spannungumlagerungen, welche in der elastischen Bemessung erlaubt sind, nicht berücksichtigt. Deshalb sollte sie nur angewendet werden, wenn die Interaktion auf der Grundlage der Beanspruchbarkeitswerte  $N_{Rd}$ ,  $M_{Rd}$ ,  $V_{Rd}$  nicht verwendbar ist.

(6) Die plastische Querschnittstragfähigkeit ist in der Regel durch eine zu den plastischen Verformungen passende Spannungsverteilung zu bestimmen, die mit den inneren Kräften im Gleichgewicht steht, ohne dass die Streckgrenze überschritten wird.

(7) Als konservative Näherung darf für alle Querschnittsklassen eine lineare Addition der Ausnutzungsgrade für alle Schnittgrößen angewendet werden. Für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3, die durch eine Kombination von  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  beansprucht werden, führt diese Regelung zu folgendem Kriterium:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (6.2)$$

wobei  $N_{Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$  und  $M_{z,Rd}$  die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten in Abhängigkeit von der Querschnittsklasse unter möglicher Berücksichtigung mittragender Breiten sind, siehe 6.2.8.

ANMERKUNG Bei Querschnitten der Klasse 4, siehe 6.2.9.3(2).

(8) Gehören alle druckbeanspruchten Teile eines Querschnitts zur Querschnittsklasse 1 oder 2, dann darf für den Querschnitt die volle plastische Momententragfähigkeit angesetzt werden.

(9) Sind alle druckbeanspruchten Teile eines Querschnitts der Querschnittsklasse 3 zuzuordnen, so sollte die Beanspruchbarkeit auf der Grundlage einer elastischen Dehnungsverteilung über den Querschnitt ermittelt werden. Für die Klassifizierung, siehe Tabelle 5.2, sollten Druckspannungen durch Erreichen der Streckgrenze an den äußersten Querschnittsfasern begrenzt werden.

ANMERKUNG Tragsicherheitsnachweise dürfen in der Mittelebene von Gurten geführt werden. Zu Ermüdungsnachweisen siehe EN 1993-1-9.

(10) Tritt Fließen als Erstes auf der Zugseite des Querschnitts auf, so dürfen bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit von Klasse-3-Querschnitten die plastischen Reserven auf der Zugseite der neutralen Achse durch den Ansatz einer Teilplastizierung ausgenutzt werden.

## 6.2.2 Querschnittswerte

### 6.2.2.1 Bruttoquerschnitte

(1) Die Bruttoquerschnittswerte sind in der Regel mit den Nennwerten der Abmessungen zu ermitteln. Löcher für Verbindungsmittel brauchen nicht abgezogen zu werden, jedoch sind andere größere Öffnungen in der Regel zu berücksichtigen. Lose Futterbleche dürfen in der Regel nicht angesetzt werden.

### 6.2.2.2 Nettofläche

(1) Die Nettofläche eines Querschnitts ist in der Regel aus der Bruttoquerschnittsfläche durch geeigneten Abzug aller Löcher und anderer Öffnungen zu bestimmen.

(2) Bei der Berechnung der Nettofläche ist der Lochabzug für ein einzelnes Loch die Bruttoquerschnittsfläche des Loches an der Stelle der Lochachse. Bei Löchern für Senkschrauben ist die Fase entsprechend zu berücksichtigen.

(3) Bei nicht versetzten Löchern ist die kritische Lochabzugsfläche der Größtwert der Summen Risslinie 2 in Bild 6.1.

ANMERKUNG Der Größtwert kennzeichnet die kritische Risslinie.

(4) Sind die Löcher für Verbindungsmittel versetzt angeordnet, ist als kritische Lochabzugsfläche in der Regel der Größtwert folgender Werte anzunehmen:

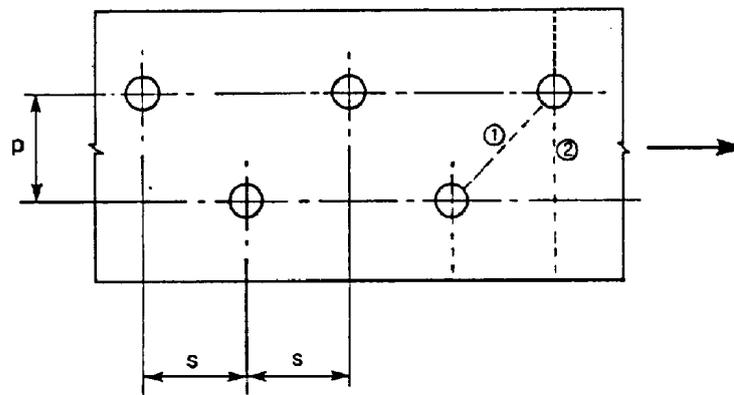
a) der Lochabzug wie bei nicht versetzt angeordneten Löchern nach (3);

b) 
$$t \left( nd_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right) \quad (6.3)$$

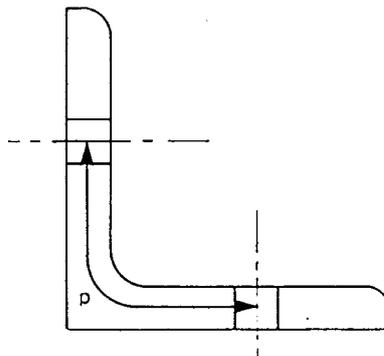
Dabei ist

- $s$  der versetzte Lochabstand, d. h. der Abstand der Lochachsen zweier aufeinander folgender Löcher gemessen in Richtung der Bauteilachse;
- $p$  der Lochabstand derselben Lochachsen gemessen senkrecht zur Bauteilachse;
- $t$  die Blechdicke;
- $n$  die Anzahl der Löcher längs einer Diagonalen oder Zickzacklinie (kritische Risslinie), die sich über den Querschnitt oder über Querschnittsteile erstreckt, siehe Bild 6.1;
- $d_0$  der Lochdurchmesser.

(5) Bei Winkeln oder anderen Bauteilen mit Löchern in mehreren Ebenen ist der Lochabstand  $p$  in der Regel entlang der Profilmittellinie zu messen, siehe Bild 6.2.



**Bild 6.1 — Versetzte Löcher und kritische Risslinien 1 und 2**



**Bild 6.2 — Winkel mit Löchern in beiden Schenkeln**

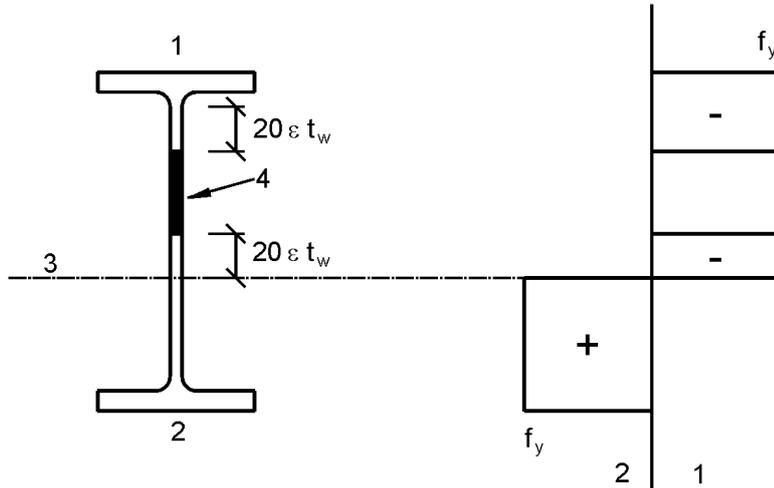
### 6.2.2.3 Mittragende Breite

- (1) Die Ermittlung der mittragenden Breite ist in EN 1993-1-5 geregelt.
- (2) Bei Querschnitten der Klasse 4 ist in der Regel die Interaktion zwischen der mittragenden Breite und der mitwirkenden Breite infolge lokalen Beulens nach EN 1993-1-5 zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Bei kaltgeformten Blechen siehe EN 1993-1-3.

**6.2.2.4 Wirksame Querschnittswerte bei Querschnitten mit Klasse-3-Stegen und Klasse-1- oder Klasse-2-Gurten bei Momentenbeanspruchung  $M_y$**

(1) Wenn Querschnitte mit Klasse-3-Steg und Klasse-1- oder Klasse-2-Gurten als Klasse-2-Querschnitte eingestuft werden, siehe 5.5.2(11), wird die gedrückte Fläche des Steges entsprechend Bild 6.3 in einen Anteil mit der wirksamen Breite  $20 \varepsilon t_w$  am Druckgurt und einen weiteren Anteil mit der wirksamen Breite  $20 \varepsilon t_w$  an der neutralen Achse der plastischen Spannungsverteilung des Querschnitts aufgeteilt.



**Legende**

- 1 Druck
- 2 Zug
- 3 plastische Nulllinie (des wirksamen Querschnitts)
- 4 nicht wirksame Fläche

**Bild 6.3 — Wirksame Stegfläche für Klasse-2-Querschnitte**

**6.2.2.5 Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4**

(1) Die wirksamen Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4 sind in der Regel mit den wirksamen Breiten der druckbeanspruchten Querschnittsteile zu ermitteln.

(2) Bei kaltgeformten Querschnitten siehe 1.1.2(1) und EN 1993-1-3.

(3) Die wirksame Breite für ebene druckbeanspruchte Querschnittsteile ist in der Regel nach EN 1993-1-5 zu ermitteln.

(4) Wenn ein Querschnitt der Klasse 4 durch eine Druckkraft beansprucht ist, kommt das in EN 1993-1-5 genannte Verfahren zur Anwendung, um die mögliche Verschiebung  $e_N$  der Hauptachse der wirksamen Querschnittsfläche  $A_{eff}$  bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts  $A$ , sowie das sich daraus ergebende Zusatzmoment:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} e_N \tag{6.4}$$

zu bestimmen.

ANMERKUNG Das Vorzeichen des Zusatzmoments ist vom Zusammenwirken der maßgebenden Schnittgrößen abhängig, siehe 6.2.9.3(2).

(5) Bei Rundhohlprofilen der Querschnittsklasse 4 siehe EN 1993-1-6.

### 6.2.3 Zugbeanspruchung

(1)  $\square$  P  $\square$  Für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft  $N_{Ed}$  ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.5)$$

(2) Als Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit  $N_{t,Rd}$  eines Querschnittes mit Löchern ist in der Regel der kleinere der folgenden Werte anzusetzen:

a) der Bemessungswert der plastischen Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.6)$$

b) der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (6.7)$$

(3) Wird eine Kapazitätsbemessung gefordert, siehe EN 1998, muss der Bemessungswert der plastischen Zugbeanspruchbarkeit  $N_{pl,Rd}$  nach 6.2.3(2) a) kleiner als der Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts  $N_{u,Rd}$  längs der kritischen Risslinie durch die Löcher nach 6.2.3(2) b) sein.

(4) Bei Schraubverbindungen der Kategorie C, siehe EN 1993-1-8,  $\square$  3.4.1(1)  $\square$  ist in der Regel für den Bemessungswert der Zugbeanspruchbarkeit  $N_{t,Rd}$  in 6.2.3(1) der Wert für den Nettoquerschnitt längs der kritischen Risslinie durch die Löcher  $N_{net,Rd}$  zu verwenden:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.8)$$

(5) Bei Anschlüssen von Winkeln über nur einen Schenkel siehe auch EN 1993-1-8,  $\square$  3.10.3  $\square$ . Ähnliche Regeln gelten auch für Anschlüsse anderer Querschnitte über Schenkel.

### 6.2.4 Druckbeanspruchung

(1)  $\square$  P  $\square$  Für den Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft  $N_{Ed}$  ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.9)$$

(2) Als Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit  $N_{c,Rd}$  eines Querschnitts ist in der Regel anzusetzen:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3;} \quad (6.10)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.} \quad (6.11)$$

(3) Außer bei übergroßen Löchern oder Langlöchern nach EN 1090 müssen Löcher für Verbindungsmittel bei druckbeanspruchten Bauteilen nicht abgezogen werden, wenn sie mit den Verbindungsmitteln gefüllt sind.

(4) Bei unsymmetrischen Querschnitten der Klasse 4 kommt das Verfahren nach 6.2.9.3 zur Anwendung, um das Zusatzmoment  $\Delta M_{Ed}$  infolge der Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts, siehe 6.2.2.5(4), zu berücksichtigen.

### 6.2.5 Biegebeanspruchung

(1)  $\overline{AC}$  P  $\overline{AC}$  Für den Bemessungswert der einwirkenden Biegemomente  $M_{Ed}$  ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

wobei  $M_{c,Rd}$  unter Berücksichtigung der Löcher für Verbindungsmittel ermittelt wird, siehe (4) bis (6).

(2) Der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit eines mit einachsiger Biegung belasteten Querschnitts wird wie folgt ermittelt:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 oder 2;} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 3;} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.} \quad (6.15)$$

Wobei sich  $W_{el,min}$  und  $W_{eff,min}$  auf die Querschnittsfaser mit der maximalen Normalspannung bezieht.

(3) Bei zweiachsiger Biegung ist in der Regel die in 6.2.9 angegebene Verfahren anzuwenden.

(4) Löcher für Verbindungsmittel dürfen im zugbeanspruchten Flansch vernachlässigt werden, wenn folgende Gleichung für den Flansch eingehalten wird:

$$\frac{A_{f,net} 0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.16)$$

wobei  $A_f$  die Fläche des zugbeanspruchten Flansches ist.

**ANMERKUNG** Das in (4) gestellte Kriterium entspricht der Kapazitätsbemessung, siehe 1.5.8.

(5) Ein Lochabzug im Zugbereich von Stegblechen ist nicht notwendig, wenn die Bedingung (4) für die gesamte Zugzone, die sich aus Zugflansch und Zugbereich des Stegbleches zusammensetzt, sinngemäß erfüllt wird.

(6) Außer bei übergroßen Löchern oder Langlöchern müssen Löcher in der Druckzone von Querschnitten nicht abgezogen werden, wenn sie mit den Verbindungsmitteln gefüllt sind.

### 6.2.6 Querkraftbeanspruchung

(1)  $\square$ AC $\square$  Für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.17)$$

wobei  $V_{c,Rd}$  der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit ist. Für eine plastische Bemessung ist der Bemessungswert der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit  $V_{c,Rd}$  in (2) angegeben. Für eine elastische Bemessung ist der Bemessungswert der elastischen Querkraftbeanspruchbarkeit in (4) und (5) angegeben.

(2) Liegt keine Torsion vor, so lautet der Bemessungswert der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (6.18)$$

wobei  $A_v$  die wirksame Schubfläche ist.

(3) Die wirksame Schubfläche darf wie folgt ermittelt werden:

- |  |  |
|--|--|
| a) gewalzte Profile mit I- und H-Querschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg | $A - 2bt_f + (t_w + 2r) t_f$<br>aber mindestens $\eta h_w t_w$ |
| b) gewalzte Profile mit U-Querschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg        | $A - 2bt_f + (t_w + r) t_f$                                    |
| c) gewalzte Profile mit T-Querschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg        |  |

—  $\square$ AC $\square$  für gewalzte Profile mit T-Querschnitten:  $A_v = A - bt_f + (t_w + 2r) \frac{t_f}{2}$   $\square$ AC $\square$

—  $\square$ AC $\square$  für geschweißte Profile mit T-Querschnitten:  $A_v = t_w (h - \frac{t_f}{2})$   $\square$ AC $\square$

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| d) geschweißte Profile mit I-, H- und Kastenquerschnitte,<br>Lastrichtung parallel zum Steg              | $\eta \sum (h_w t_w)$ |
| e) geschweißte Profile mit I-, H-, U- und Kastenquerschnitte,<br>Lastrichtung parallel zum Flansch       | $A - \sum (h_w t_w)$  |
| f) gewalzte Rechteckhohlquerschnitte mit gleichförmiger Blechdicke:<br>Belastung parallel zur Trägerhöhe | $Ah/(b + h)$          |
| Belastung parallel zur Trägerbreite  | $Ab/(b + h)$          |
| g) Rundhohlquerschnitte und Rohre mit gleichförmiger Blechdicke  | $2A/\pi$              |

Dabei ist

- $A$  die Querschnittsfläche;
- $b$  die Gesamtbreite;
- $h$  die Gesamthöhe;
- $h_w$  die Stegblechhöhe;
- $r$  der Ausrundungsradius;

- $t_f$  die Flanschdicke;
- $t_w$  die Stegdicke (Bei veränderlicher Stegdicke sollte die kleinste Dicke für  $t_w$  verwendet werden.);
- $\eta$  siehe EN 1993-1-5.

ANMERKUNG  $\eta$  darf auf der sicheren Seite mit 1,0 angenommen werden.

(4) Für die Bestimmung des Bemessungswertes der elastischen Querkraftbeanspruchbarkeit  $V_{c,Rd}$  darf die folgende Grenzbedingung für den kritischen Querschnittspunkt verwendet werden, wenn nicht der Beulnachweis nach EN 1993-1-5, Abschnitt 5 maßgebend wird:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0 \quad (6.19)$$

Dabei darf  $\tau_{Ed}$  wie folgt ermittelt werden:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t} \quad (6.20)$$

Dabei ist

- $V_{Ed}$  der Bemessungswert der Querkraft;
- $S$  das statische Flächenmoment;
- $I$  das Flächenträgheitsmoment des Gesamtquerschnitts;
- $t$  die Blechdicke am Nachweispunkt.

ANMERKUNG Die Nachweisführung (4) ist konservativ, da sie eine teilweise plastische Querkraftumlagerung, welche in der elastischen Bemessung erlaubt ist, siehe (5), nicht berücksichtigt. Deshalb sollte sie nur angewendet werden, wenn der Nachweis nicht auf der Grundlage von  $V_{c,Rd}$  nach Gleichung (6.17) geführt werden kann.

(5) Bei I- oder H-Querschnitten darf die einwirkende Schubspannung im Steg wie folgt angenommen werden:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ falls } A_f/A_w \geq 0,6 \quad (6.21)$$

Dabei ist

- $A_f$  die Fläche eines Flansches;
- $A_w$  die Fläche des Stegbleches:  $A_w = h_w t_w$ .

(6) Zusätzlich ist in der Regel der Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche nach EN 1993-1-5, Abschnitt 5, zu führen, wenn

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (6.22)$$

Für  $\eta$  siehe EN 1993-1-5, Abschnitt 5.

ANMERKUNG Als Näherung darf  $\eta = 1,0$  auf der sicheren Seite angewendet werden.

(7) Außer in Fällen von Verbindungen nach EN 1993-1-8 brauchen beim Nachweis der Querkrafttragfähigkeit die Löcher für Verbindungsmittel nicht abgezogen zu werden.

(8) Wenn Querkraftbeanspruchungen und Torsionsbeanspruchungen kombiniert auftreten, ist in der Regel die plastische Querkrafttragfähigkeit  $V_{pl,Rd}$  nach 6.2.7(9) abzumindern.

### 6.2.7 Torsionsbeanspruchung

(1) Für torsionsbeanspruchte Bauteile, bei denen die Querschnittsverformungen vernachlässigt werden können, ist in der Regel der Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmoments  $T_{Ed}$  an jedem Querschnitt wie folgt nachzuweisen:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \leq 1,0 \quad (6.23)$$

wobei  $T_{Rd}$  der Bemessungswert der Torsionsbeanspruchbarkeit des Querschnitts ist.

(2) Das gesamte einwirkende Torsionsmoment  $T_{Ed}$  an einem Querschnitt setzt sich aus zwei Schnittgrößen zusammen:

$$T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{w,Ed} \quad (6.24)$$

Dabei ist

$T_{t,Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden St. Venant'schen Torsionsmoments (primäres Torsionsmoment);

$T_{w,Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Wölbtorsionsmoments (sekundäres Torsionsmoment).

(3) Die Bemessungswerte  $T_{t,Ed}$  und  $T_{w,Ed}$  können mit den entsprechenden Querschnittswerten, den Zwängungsbedingungen an den Auflagern und der Lastverteilung längs des Bauteils mit einer elastischen Berechnung ermittelt werden.

(4) Folgende Spannungen infolge Torsionsbeanspruchung sind in der Regel in Betracht zu ziehen:

— einwirkende Schubspannung  $\tau_{t,Ed}$  infolge St. Venant'scher Torsion  $T_{t,Ed}$ ;

— einwirkende Normalspannungen  $\sigma_{w,Ed}$  infolge des Bimomentes  $B_{Ed}$  und Schubspannungen  $\tau_{w,Ed}$  infolge Wölbkrafttorsion  $T_{w,Ed}$ .

(5) Beim elastischen Nachweis darf das Fließkriterium in 6.2.1(5) verwendet werden.

(6) Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und Torsion brauchen bei der Ermittlung der plastischen Biegemomentebeanspruchbarkeit eines Querschnitts als Torsionsschnittgrößen  $B_{Ed}$  nur jene berücksichtigt zu werden, die sich aus der elastischen Berechnung ergeben, siehe (3).

(7) Bei geschlossenen Hohlquerschnitten darf vereinfachend angenommen werden, dass der Einfluss aus der Wölbtorsion vernachlässigt werden kann. Weiterhin darf vereinfachend bei offenen Querschnitten, wie zum Beispiel I- oder H-Querschnitten der Einfluss der St. Venant'schen Torsion vernachlässigt werden.

(8) Der Bemessungswert der Torsionsbeanspruchbarkeit  $T_{Rd}$  eines geschlossenen Hohlprofils kann aus den Bemessungswerten der Schubtragfähigkeiten der einzelnen Teilstücke des Querschnitts nach EN 1993-1-5 zusammengesetzt werden.

(9) Bei kombinierter Beanspruchung aus Querkraft und Torsion ist in der Regel die plastische Querkrafttragfähigkeit  $V_{pl,Rd}$  nach 6.2.6(2) auf den Wert  $V_{pl,T,Rd}$  abzumindern. Für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  muss in jedem Querschnitt folgender Nachweis erfüllt werden:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.25)$$

wobei  $V_{pl,T,Rd}$  wie folgt ermittelt wird:

— für I- oder H-Querschnitte:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \left( f_y / \sqrt{3} \right) / \gamma_{M0}}} V_{pl,Rd} ; \quad (6.26)$$

— für U-Querschnitte:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25 \left( f_y / \sqrt{3} \right) / \gamma_{M0}} - \frac{\tau_{w,Ed}}{\left( f_y / \sqrt{3} \right) / \gamma_{M0}}} \right] V_{pl,Rd} ; \quad (6.27)$$

— für Hohlprofile:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{\left( f_y / \sqrt{3} \right) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} . \quad (6.28)$$

### 6.2.8 Beanspruchung aus Biegung und Querkraft

(1) Bei Biegung mit Querkraftbeanspruchung ist in der Regel der Einfluss der Querkraft auf die Momentenbeanspruchbarkeit zu berücksichtigen.

(2) Unterschreitet der Bemessungswert der Querkraft die Hälfte des Bemessungswertes der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit, dann kann die Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit vernachlässigt werden, außer wenn die Querschnittstragfähigkeit durch Schubbeulen reduziert wird, siehe EN 1993-1-5.

(3) In anderen Fällen ist die Abminderung des Bemessungswertes der Momententragfähigkeit in der Regel dadurch zu berücksichtigen, dass für die schubbeanspruchten Querschnittsteile die abgeminderte Streckgrenze wie folgt angesetzt wird:

$$(1 - \rho) f_y \quad (6.29)$$

wobei  $\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$  und  $V_{pl,Rd}$  nach 6.2.6(2) anzusetzen ist.

ANMERKUNG Siehe auch 6.2.10(3).

(4) Bei gleichzeitig wirkender Torsionsbeanspruchung gilt:

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2, \text{ siehe 6.2.7. Für } V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,T,Rd} \text{ gilt } \rho = 0.$$

(5) Bei I-Querschnitten mit gleichen Flanschen und einachsiger Biegung um die Hauptachse darf die Abminderung des Bemessungswertes der plastischen Momententragfähigkeit infolge der Querkraftbeanspruchung auch wie folgt ermittelt werden:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[ W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{aber } M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd} \quad (6.30)$$

Dabei ist

$$M_{y,c,Rd} \quad \text{siehe 6.2.5(2);}$$

$$A_w = h_w t_w.$$

(6) Zur Interaktion der Beanspruchungen aus Biegung, Querkraft und Querbelastrung siehe EN 1993-1-5, Abschnitt 7.

## 6.2.9 Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft

### 6.2.9.1 Querschnitte der Klasse 1 und 2

(1) Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und Normalkraft ist in der Regel der Einfluss der einwirkenden Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit zu berücksichtigen.

(2)  $\square$ AC) P  $\square$ AC) Bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 ist die folgende Gleichung einzuhalten:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (6.31)$$

wobei  $M_{N,Rd}$  der durch den Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft  $N_{Ed}$  abgeminderte Bemessungswert der plastischen Momentenbeanspruchbarkeit ist.

(3) Bei rechteckigen Vollquerschnitten ohne Schraubenlöcher  $M_{N,Rd}$  wird in der Regel wie folgt ermittelt:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right] \quad (6.32)$$

(4) Bei doppelt-symmetrischen I- und H-Querschnitten, oder anderen Querschnitten mit Gurten, braucht der Einfluss der Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit um die  $y$ - $y$  Achse  $\square$ AC) nicht  $\square$ AC) berücksichtigt zu werden, wenn die beiden folgenden  $\square$ AC) Bedingungen erfüllt sind  $\square$ AC):

$$\square$$
AC)  $N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$   $\square$ AC)  $(6.33)$

und

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}. \quad (6.34)$$

Bei doppelt-symmetrischen I- und H-Querschnitten braucht der Einfluss der einwirkenden Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit um die z-z Achse  $M_{AC}$  nicht  $M_{AC}$  berücksichtigt zu werden, wenn:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.35)$$

(5) Bei gewalzten I- oder H-Querschnitten nach den Liefnormen und bei geschweißten I- oder H-Querschnitten mit gleichen Flanschen darf, wenn keine Schraubenlöcher zu berücksichtigen sind, folgende Näherung angewendet werden:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a) \quad \text{jedoch} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd} \quad (6.36)$$

$$\text{für } n \leq a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}; \quad (6.37)$$

$$\text{für } n > a: M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]. \quad (6.38)$$

wobei

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd};$$

$$a = (A - 2bt_f)/A \quad \text{jedoch} \quad a \leq 0,5.$$

Bei rechteckigen Hohlquerschnitten mit konstanter Blechdicke und bei geschweißten Kastenquerschnitten mit gleichen Flanschen und gleichen Stegen darf, wenn keine Schraubenlöcher zu berücksichtigen sind, folgende Näherung angewendet werden:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_w) \quad \text{jedoch} \quad M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}; \quad (6.39)$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1 - n)/(1 - 0,5a_f) \quad \text{jedoch} \quad M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}. \quad (6.40)$$

wobei

$$a_w = (A - 2bt)/A \quad \text{jedoch} \quad a_w \leq 0,5 \text{ für Hohlquerschnitte};$$

$$a_w = (A - 2bt_f)/A \quad \text{jedoch} \quad a_w \leq 0,5 \text{ für Kastenquerschnitte};$$

$$a_f = (A - 2ht)/A \quad \text{jedoch} \quad a_f \leq 0,5 \text{ für Hohlquerschnitte};$$

$$a_f = (A - 2ht_w)/A \quad \text{jedoch} \quad a_f \leq 0,5 \text{ für Kastenquerschnitte}.$$

(6) Bei zweiachsiger Biegung mit Normalkraft darf folgendes Kriterium verwendet werden:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (6.41)$$

wobei  $\alpha$  und  $\beta$  Konstanten sind, die konservativ mit 1 oder wie folgt festgelegt werden können:

— I- und H-Querschnitte:

$$\alpha = 2; \beta = 5n \quad \text{jedoch} \quad \beta \geq 1;$$

— Runde Hohlquerschnitte:

$$\alpha = 2; \beta = 2;$$

$$\boxed{\text{AC}} M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n^{1,7}) \boxed{\text{AC}}$$

— Rechteckige Hohlquerschnitte:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 n^2} \quad \text{jedoch} \quad \alpha = \beta \leq 6.$$

Dabei ist  $n = N_{Ed}/N_{pl,Rd}$ .

### 6.2.9.2 Querschnitte der Klasse 3

(1)  $\boxed{\text{AC}} P \boxed{\text{AC}}$  Für Querschnitte der Klasse 3 ohne Querkraftbeanspruchung muss die größte einwirkende Normalspannung folgende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.42)$$

Dabei ist  $\sigma_{x,Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung aus Biegung und Normalkraft gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Schraubenlöchern, siehe 6.2.3, 6.2.4 und 6.2.5.

### 6.2.9.3 Querschnitte der Klasse 4

(1)  $\boxed{\text{AC}} P \boxed{\text{AC}}$  Für Querschnitte der Klasse 4 ohne Querkraftbeanspruchung muss  $\boxed{\text{AC}}$  der einwirkenden  $\boxed{\text{AC}}$  Normalspannung  $\sigma_{x,Ed}$ , die mit wirksamen Querschnittswerten ermittelt wurde, siehe 5.5.2(2), folgende Gleichung erfüllen:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.43)$$

Dabei ist  $\sigma_{x,Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung aus Biegung und Normalkraft gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Schraubenlöchern, siehe 6.2.3, 6.2.4 und 6.2.5.

(2)  $\boxed{\text{AC}}$  Alternativ zur Gleichung (1) kann folgende vereinfachte Gleichung verwendet werden:  $\boxed{\text{AC}}$

$$\frac{N_{Ed}}{A_{\text{eff}} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{\text{eff},y,\text{min}} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{\text{eff},z,\text{min}} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (6.44)$$

Dabei ist

$A_{\text{eff}}$  die wirksame Querschnittsfläche bei gleichmäßiger Druckbeanspruchung;

$W_{\text{eff},\text{min}}$  das wirksame Widerstandsmoment eines ausschließlich auf Biegung um die maßgebende Achse beanspruchten Querschnitts;

$e_N$  die Verschiebung der maßgebenden Hauptachse eines unter reinen Druck beanspruchten Querschnitts, siehe 6.2.2.5(4).

ANMERKUNG Die Vorzeichen von  $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$  und  $\Delta M_i = N_{Ed} e_{Ni}$  sind vom Zusammenwirken der maßgebenden einwirkenden Schnittgrößen abhängig.

### 6.2.10 Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft

(1) Bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung, Querkraft und Normalkraft ist in der Regel der Einfluss der Querkraft und Normalkraft auf die plastische Momentenbeanspruchbarkeit zu berücksichtigen.

(2) Wenn der Bemessungswert der einwirkenden Querkraft  $V_{Ed}$  die Hälfte des Bemessungswertes der plastischen Querkrafttragfähigkeit  $V_{pl,Rd}$  nicht überschreitet, braucht keine Abminderung der Beanspruchbarkeit von auf Biegung und Normalkraft beanspruchten Querschnitten in 6.2.9 durchgeführt werden, es sei denn Schubbeulen vermindert die Querschnittstragfähigkeit, siehe EN 1993-1-5.

(3) Falls  $V_{Ed}$  die Hälfte von  $V_{pl,Rd}$  überschreitet, ist in der Regel die Momententragfähigkeit für auf Biegung und Normalkraft beanspruchte Querschnitte mit einer abgeminderten Streckgrenze:

$$(1 - \rho) f_y \tag{6.45}$$

für die wirksamen Schubflächen zu ermitteln,

wobei  $\rho = (2V_{Ed}/V_{pl,Rd} - 1)^2$  und  $V_{pl,Rd}$  aus 6.2.6(2) ermittelt wird.

ANMERKUNG Anstelle der Abminderung der Streckgrenze kann auch eine Abminderung der Blechdicke der maßgebenden Querschnittsteile vorgenommen werden.

### 6.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile

#### 6.3.1 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck

##### 6.3.1.1 Biegeknicken

(1) Für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe ist in der Regel folgender Nachweis gegen Biegeknicken zu führen:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \tag{6.46}$$

Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft;

$N_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Biegeknickbeanspruchbarkeit von druckbeanspruchten Bauteilen.

(2) Bei unsymmetrischen Querschnitten der Klasse 4 ist in der Regel das Zusatzmoment  $\Delta M_{Ed}$  infolge der verschobenen Hauptachse des wirksamen Querschnitts, siehe auch 6.2.2.5(4) zu berücksichtigen. Dieses Zusatzmoment macht einen Interaktionsnachweis erforderlich, siehe 6.3.3 oder 6.3.4.

(3) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Biegeknicken von Druckstäben ist in der Regel wie folgt anzunehmen:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3;} \tag{6.47}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4;} \tag{6.48}$$

wobei  $\chi$  den Abminderungsfaktor für die maßgebende Biegeknickrichtung darstellt.

ANMERKUNG Bei Bauteilen mit veränderlichem Querschnitt oder ungleichmäßiger Druckbelastung kann eine Berechnung nach Theorie 2. Ordnung nach 5.3.4(2) erfolgen. Bei Biegeknicken aus der Ebene siehe 6.3.4.

(4) Bei der Berechnung von  $A$  und  $A_{\text{eff}}$  können Löcher für Verbindungsmittel an den Stützenenden vernachlässigt werden.

### 6.3.1.2 Knicklinien

(1) Für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe ist der Wert  $\chi$  mit dem Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  aus der maßgebenden Knicklinie in der Regel nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{aber } \chi \leq 1,0 \quad (6.49)$$

Dabei ist

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right];$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{\text{cr}}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr}}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4;}$$

$\alpha$  der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie;

$N_{\text{cr}}$  die ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall gerechnet mit den Abmessungen des Bruttoquerschnitts.

(2) Der Imperfektionsbeiwert  $\alpha$  sollte der Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 entnommen werden.

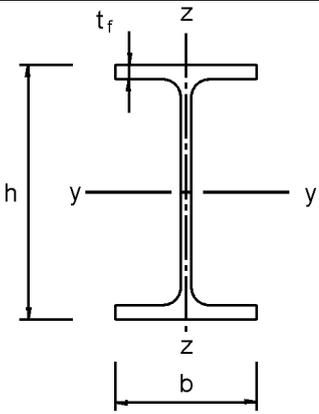
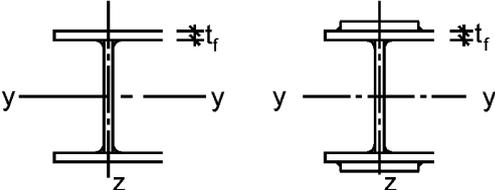
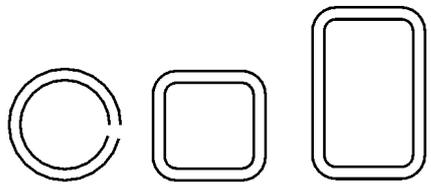
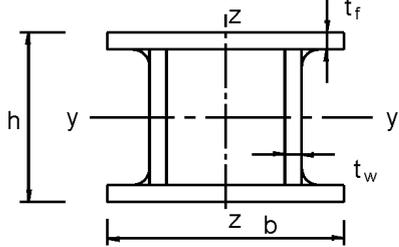
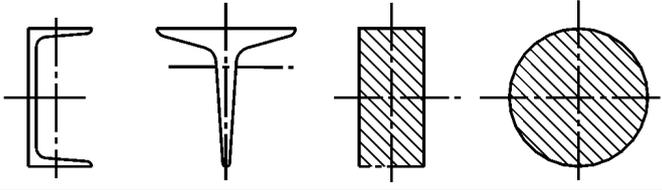
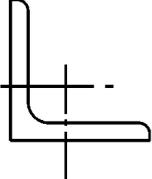
**Tabelle 6.1 — Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien**

Knicklinie	$a_0$	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

(3) Die Werte des Abminderungsfaktors  $\chi$  dürfen für den Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  auch mit Hilfe von Bild 6.4 ermittelt werden.

(4) Bei Schlankheitsgraden  $\bar{\lambda} \leq 0,2$  oder für  $\frac{N_{\text{Ed}}}{N_{\text{cr}}} \leq 0,04$  darf der Biegeknicknachweis entfallen, und es sind ausschließlich Querschnittsnachweise zu führen.

Tabelle 6.2 — Auswahl der Knicklinie eines Querschnitts

Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zur Achse	Knicklinie		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
gewalzte I-Querschnitte 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	a a <sub>0</sub>	a <sub>0</sub> a <sub>0</sub>
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	a a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d d	c c
Geschweißte I-Querschnitte 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d	
Hohlquerschnitte 	warmgefertigte	jede	a	a <sub>0</sub>	
	kaltgefertigte	jede	c	c	
Geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein (außer den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b	
	dicke Schweißnähte: $a > 0,5t_f$ $bt_f < 30$ $hlt_w < 30$	jede	c	c	
U-, T- und Vollquerschnitte 	jede	c	c		
L-Querschnitte 	jede	b	b		

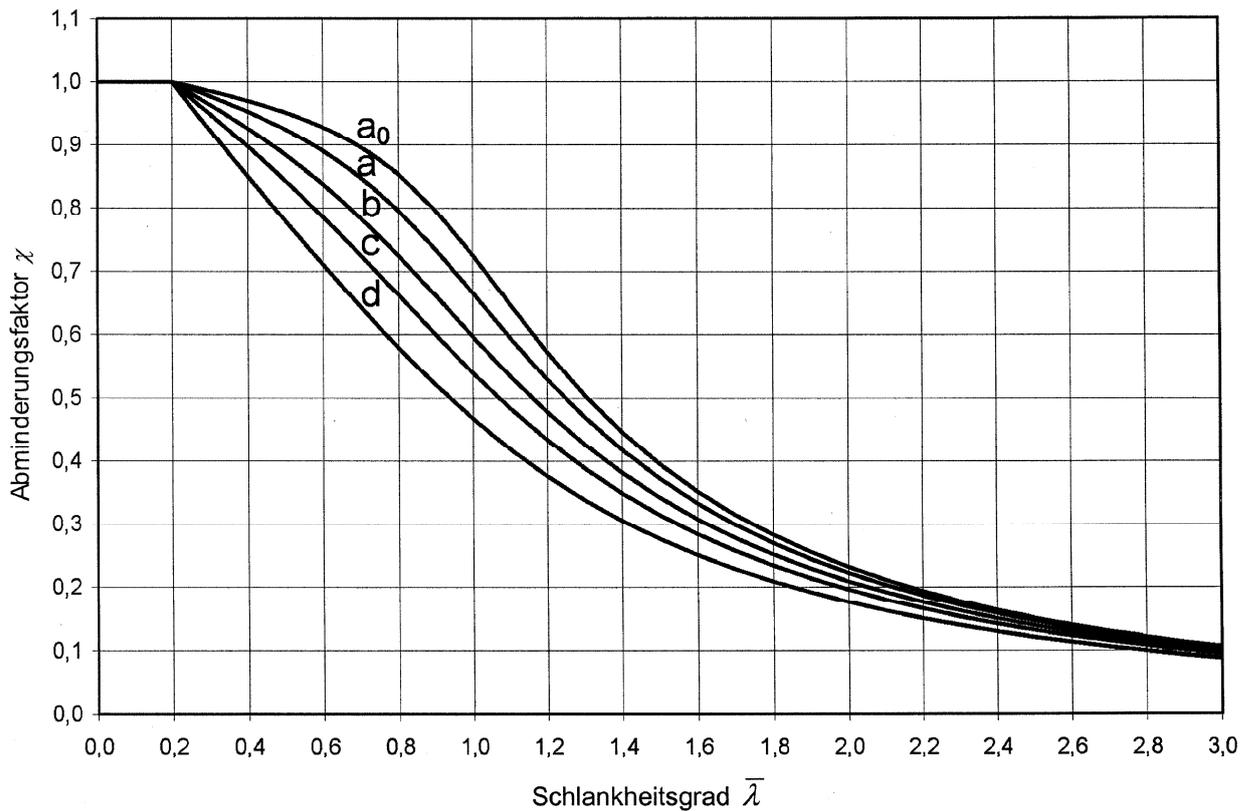


Bild 6.4 — Knicklinien

### 6.3.1.3 Schlankheitsgrad für Biegeknicke

(1) Der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}$  ist wie folgt zu bestimmen:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3;} \quad (6.50)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.} \quad (6.51)$$

Dabei ist

$L_{cr}$  die Knicklänge in der betrachteten Knickebene;

$i$  der Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene, der unter Verwendung der Abmessungen des Bruttoquerschnitts ermittelt wird;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon;$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad f_y \text{ in N/mm}^2.$$

ANMERKUNG B Zu Biegeknicke im Hochbau siehe Anhang BB.

(2) Die für das Biegeknicke maßgebende Knicklinie sollte aus Tabelle 6.2 entnommen werden.

### 6.3.1.4 Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken

(1) Bei Bauteilen mit offenen Querschnitten ist in der Regel zu beachten, dass der Widerstand des Bauteils gegen Drillknicken oder Biegedrillknicken möglicherweise kleiner als sein Widerstand gegen Biegeknicken ist.

(2) Der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_T$  für Drillknicken oder Biegedrillknicken ist wie folgt anzunehmen:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3;} \quad (6.52)$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.} \quad (6.53)$$

Dabei ist

$$N_{cr} = N_{cr,TF} \quad \text{jedoch} \quad N_{cr} < N_{cr,T};$$

$N_{cr,TF}$  die ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken;

$N_{cr,T}$  die ideale Verzweigungslast für Drillknicken.

(3) Bei Drillknicken oder Biegedrillknicken kann die maßgebende Knicklinie der Tabelle 6.2 entnommen werden, wobei die Linien für die  $z$ -Achse gelten.

### 6.3.2 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse

#### 6.3.2.1 Biegedrillknicken

(1) Für einen seitlich nicht durchgehend am Druckgurt gehaltenen Träger, der auf Biegung um die Hauptachse beansprucht wird, ist in der Regel folgender Nachweis gegen Biegedrillknickversagen zu erbringen:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.54)$$

Dabei ist

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes;

$M_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit.

(2) Träger, bei denen der gedrückte Flansch ausreichend gegen seitliches Ausweichen gehalten ist, sind gegen Biegedrillknickversagen unempfindlich. Außerdem sind Träger mit bestimmten Querschnitten, wie rechteckige oder runde Hohlquerschnitte, geschweißte Rohrquerschnitte oder Kastenquerschnitte, nicht biegedrillknickgefährdet.

(3) Der Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit eines seitlich nicht gehaltenen Trägers ist in der Regel wie folgt zu ermitteln:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (6.55)$$

wobei

$W_y$  das maßgebendes Widerstandsmoment mit folgender Bedeutung ist:

- $W_y = W_{pl,y}$  für Querschnitte der Klasse 1 oder 2;
- $W_y = W_{el,y}$  für Querschnitte der Klasse 3;
- $W_y = W_{eff,y}$  für Querschnitte der Klasse 4;

$\chi_{LT}$  ist der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken.

ANMERKUNG 1 Für die Ermittlung des Bemessungswertes der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit von Trägern mit veränderlichem Querschnitt darf eine Berechnung nach Theorie 2. Ordnung nach 5.3.4(3) durchgeführt werden. Bei Knicken aus der Ebene siehe 6.3.4.

ANMERKUNG 2B Zu biegedrillknickgefährdeten Bauteilen im Hochbau siehe auch Anhang BB.

(4) Bei der Berechnung von  $W_y$  können Löcher für Verbindungsmittel an Stellen mit geringer Momentenbeanspruchung (z. B. an den Trägerenden) vernachlässigt werden.

### 6.3.2.2 Knicklinien für das Biegedrillknicken — Allgemeiner Fall

(1) Außer für die Fälle in 6.3.2.3 ist für biegebeanspruchte Bauteile mit gleichförmigen Querschnitten der Wert  $\chi_{LT}$  mit dem Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{LT}$  aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie in der Regel nach folgender Gleichung zu ermitteln:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{jedoch} \quad \chi_{LT} \leq 1,0. \quad (6.56)$$

Dabei ist

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right];$$

$\alpha_{LT}$  der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}};$$

$M_{cr}$  das ideales Biegedrillknickmoment.

(2)  $M_{cr}$  ist in der Regel mit den Abmessungen des Bruttoquerschnitts und unter Berücksichtigung des Belastungszustands, der tatsächlichen Momentenverteilung und der seitlichen Lagerungen zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Der Nationale Anhang kann die Imperfektionsbeiwerte  $\alpha_{LT}$  festlegen. Die empfohlenen Werte von  $\alpha_{LT}$  sind Tabelle 6.3 zu entnehmen.

Tabelle 6.3 — Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien für das Biegedrillknicken

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

Die empfohlene Zuordnung ist Tabelle 6.4 zu entnehmen.

Tabelle 6.4 — Empfohlene Knicklinien für das Biegedrillknicken nach Gleichung (6.56)

Querschnitt	Grenzen	Knicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
andere Querschnitte	—	d

(3) Der Wert des Abminderungsfaktors  $\chi_{LT}$  für den Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{LT}$  darf auch aus Bild 6.4 entnommen werden.

(4) Bei Schlankheitsgraden  $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$  (siehe 6.3.2.3) oder für  $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$  (siehe 6.3.2.3) darf der Biegedrillknicknachweis entfallen, und es sind ausschließlich Querschnittsnachweise zu führen.

### 6.3.2.3 Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte

(1) Für gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte unter Biegebeanspruchung werden die Werte  $\chi_{LT}$  mit dem Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{LT}$  aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{jedoch} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (6.57)$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} \left( \bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0} \right) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Parameter  $\bar{\lambda}_{LT,0}$  und  $\beta$  festlegen. Die folgenden Werte werden für gewalzte Profile oder gleichartige geschweißte Querschnitte empfohlen:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (Höchstwert);}$$

$$\beta = 0,75 \text{ (Mindestwert).}$$

Die empfohlene Zuordnung ist der Tabelle 6.5 zu entnehmen.

Tabelle 6.5 — Empfohlene Biegedrillknicklinien nach Gleichung (6.57)

Querschnitt	Grenzen	Biegedrillknicklinien
gewalztes I-Profil	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
geschweißtes I-Profil	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d

(2) Um die Momentenverteilung zwischen den seitlichen Lagerungen von Bauteilen zu berücksichtigen, darf der Abminderungsfaktor  $\chi_{LT}$  wie folgt modifiziert werden:

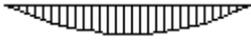
$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{jedoch } \boxed{\text{AC}} \left\{ \begin{array}{l} \chi_{LT,mod} \leq 1 \\ \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \quad \boxed{\text{AC}} \end{array} \right. \quad (6.58)$$

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Werte  $f$  festlegen. Folgende Mindestwerte werden empfohlen:

$$f = 1 - 0,5 (1 - k_c) [1 - 2,0 (\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \quad \text{jedoch} \quad f \leq 1,0.$$

Dabei ist  $k_c$  ist ein Korrekturbeiwert nach Tabelle 6.6.

Tabelle 6.6 — Empfohlene Korrekturbeiwerte  $k_c$

Momentenverteilung	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

**6.3.2.4 Vereinfachtes Bemessungsverfahren für Träger mit Biegedrillknickbehinderungen im Hochbau**

(1)B Bauteile mit an einzelnen Punkten seitlich gestützten Druckflanschen dürfen als nicht biegedrillknickgefährdet angesehen werden, wenn die Länge  $L_c$  zwischen den seitlich gehaltenen Punkten bzw. der sich daraus ergebende Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_F$  des druckbeanspruchten Flansches folgende Anforderung erfüllt:

$$\bar{\lambda}_F = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \quad (6.59)$$

Dabei ist

$M_{y,Ed}$  das größte einwirkende Bemessungsmoment zwischen den Stützpunkten;

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}};$$

$W_y$  das maßgebende Widerstandsmoment des Querschnitts für die gedrückte Querschnittsfaser;

$k_c$  der Korrekturbeiwert an dem Schlankheitsgrad abhängig von der Momentenverteilung zwischen den seitlich gehaltenen Punkten, siehe Tabelle 6.6;

$i_{f,z}$  der Trägheitsradius des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse unter Berücksichtigung von 1/3 der auf Druck beanspruchten Fläche des Steges;

$\bar{\lambda}_{c0}$  der Grenzschlankheitsgrad für das oben betrachtete, druckbeanspruchte Bauteil;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon;$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ in N/mm}^2).$$

ANMERKUNG 1B Für Querschnitte der Klasse 4 darf  $i_{f,z}$  wie folgt berechnet werden:

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff},f}}{A_{\text{eff},f} + \frac{1}{3} A_{\text{eff},w,c}}}$$

Dabei ist

$I_{\text{eff},f}$  das wirksame Flächenträgheitsmoment des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;

$A_{\text{eff},f}$  die wirksame Fläche des druckbeanspruchten Flansches

$A_{\text{eff},w,c}$  die wirksame Fläche des druckbeanspruchten Teils des Stegblechs

ANMERKUNG 2B Der Nationale Anhang kann den Grenzschlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{c0}$  festlegen. Der Grenzwert von  $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$  wird empfohlen, siehe 6.3.2.3.

(2)B Wenn der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_f$  des druckbeanspruchten Flansches den in (1)B festgelegten Grenzwert überschreitet, darf der Bemessungswert der Biegedrillknickbeanspruchbarkeit wie folgt ermittelt werden:

$$M_{b,Rd} = k_{ff} \chi M_{c,Rd} \quad \text{jedoch} \quad M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd} \quad (6.60)$$

Dabei ist

$\chi$  der mit  $\bar{\lambda}_f$  ermittelte Abminderungsfaktor des äquivalenten druckbeanspruchten Flansches;

$k_{ff}$  der Anpassungsfaktor, mit dem dem konservativen Nachweis mit äquivalenten druckbeanspruchten Flanschen Rechnung getragen wird.

ANMERKUNG B Der Nationale Anhang kann den Anpassungsfaktor  $k_{ff}$  festlegen. Der Wert  $k_{ff} = 1,10$  wird empfohlen.

(3)B Für das Verfahren in (2)B sind in der Regel die folgenden Knicklinien zu verwenden:

Knickspannungslinie  $d$  für geschweißte Querschnitte, vorausgesetzt:  $\frac{h}{t_f} \leq 44\varepsilon$  ;

Knickspannungslinie  $c$  für alle anderen Querschnitte.

Dabei ist

$h$  die Gesamthöhe des Querschnitts;

$t_f$  die Dicke des druckbeanspruchten Flansches.

ANMERKUNG B Zum Biegedrillknicken von seitlich gestützten Bauteilen im Hochbau, siehe auch Anhang BB.3.

### 6.3.3 Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile

(1) Wenn keine Untersuchung nach Theorie II. Ordnung durchgeführt wird, bei der die Imperfektionen aus 5.3.2 angesetzt werden, sollte die Stabilität von gleichförmigen Bauteilen mit doppelt-symmetrischen Querschnitten, die nicht zu Querschnittsverformungen neigen, nach (2) bis (5) nachgewiesen werden. Dabei wird folgende Differenzierung vorgenommen:

- verdrehsteife Bauteile, wie z. B. Hohlquerschnitte oder gegen Verdrehung ausgesteifte Querschnitte
- verdrehweiche Bauteile, wie z. B. offene Querschnitte, deren Verdrehung nicht behindert wird

(2) Zusätzlich zu den Nachweisen nach (3) bis (5) sind an den Bauteilenden in der Regel Querschnittsnachweise nach 6.2 zu führen.

ANMERKUNG 1 Die Interaktionsformeln basieren auf dem Modell eines gabelgelagerten Einfeldträgers, mit oder ohne seitliche Zwischenstützung, der durch Druckkräfte, Randmomente und/oder Querbelastungen beansprucht wird.

ANMERKUNG 2 Falls die Anwendungsbedingungen in (1) und (2) nicht erfüllt sind, siehe 6.3.4.

(3) Der Stabilitätsnachweis darf für ein Tragwerk geführt werden, indem einzelne Bauteile, die als aus dem Tragwerk herausgeschnitten gedacht werden, nachgewiesen werden. Die Wirkung der Theorie 2. Ordnung auf ein seitenverschiebliches Tragwerk (P- $\Delta$ -Effekte) wird entweder durch die vergrößerten Randmomente des einzelnen herausgeschnittenen Bauteils oder durch geeignete Knicklängenbestimmung berücksichtigt, siehe 5.2.2(3)c) und 5.2.2(8).

(4) Durch Biegung und Druck beanspruchte Bauteile müssen in der Regel folgende Anforderungen erfüllen:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1; \quad (6.61)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1. \quad (6.62)$$

Dabei sind

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  die Bemessungswerte der einwirkenden Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die  $y$ - $y$  Achse und  $z$ - $z$  Achse;

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$  die Momente aus der Verschiebung der Querschnittsachsen von Klasse-4-Querschnitten nach 6.2.9.3 sind, siehe Tabelle 6.1;

$\chi_y$  und  $\chi_z$  die Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken nach 6.3.1;

$\chi_{LT}$  die Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken nach 6.3.2;

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  die Interaktionsfaktoren.

**Tabelle 6.7 — Werte für  $N_{Rk} = f_y A_i$ ,  $M_{i,Rk} = f_y W_i$  und  $\Delta M_{i,Ed}$**

Klasse	1	2	3	4
$A_i$	$A$	$A$	$A$	$A_{eff}$
$W_y$	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
$W_z$	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

ANMERKUNG Bei Bauteilen ohne Torsionsverformungen würde sich  $\chi_{LT} = 1,0$  ergeben.

(5) Die Interaktionsfaktoren  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$  und  $k_{zz}$  sind abhängig vom gewählten Verfahren anzusetzen.

ANMERKUNG 1 Die Interaktionsfaktoren  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$  und  $k_{zz}$  wurden auf zwei verschiedenen Wegen abgeleitet. Die Werte dieser Faktoren können dem Anhang A (Alternativverfahren 1) oder dem Anhang B (Alternativverfahren 2) entnommen werden.

ANMERKUNG 2 Der Nationale Anhang kann Festlegungen zu den Alternativverfahren 1 und 2 treffen.

ANMERKUNG 3 Vereinfachend können die Nachweise immer mit elastischen Querschnittswerten geführt werden.

### 6.3.4 Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile

(1) Das folgende Verfahren kann angewendet werden, wenn die Verfahren in 6.3.1, 6.3.2 und 6.3.3 nicht zutreffen. Es ermöglicht den Knick- und Biegedrillknicknachweis für:

- einzelne Bauteile, die in ihrer Hauptebene belastet werden, mit beliebigem einfach-symmetrischen Querschnitt, veränderlicher Bauhöhe und beliebigen Randbedingungen;
- vollständige ebene Tragwerke oder Teiltragwerke, die aus solchen Bauteilen bestehen;

die auf Druck und/oder einachsige Biegung in der Hauptebene beansprucht sind, aber zwischen ihren Stützungen keine Fließgelenke enthalten.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Einsatzgrenzen für das Verfahren festlegen.

(2) Der Widerstand gegen Knicken aus der Ebene für Tragwerke oder Teiltragwerke entsprechend (1) kann mit folgendem Kriterium nachgewiesen werden:

$$\frac{\chi_{op} \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0 \quad (6.63)$$

Dabei ist

$\alpha_{ult,k}$  der kleinste Vergrößerungsfaktor für die Bemessungswerte der Belastung, mit dem die charakteristische Tragfähigkeit der Bauteile mit Verformungen in der Tragwerksebene erreicht wird, ohne dass Knicken oder Biegedrillknicken aus der Ebene berücksichtigt wird. Dabei werden, wo erforderlich alle Effekte aus Imperfektionen und Theorie 2. Ordnung in der Tragwerksebene berücksichtigt. In der Regel wird  $\alpha_{ult,k}$  durch den Querschnittsnachweis am ungünstigsten Querschnitt des Tragwerks oder Teiltragwerks bestimmt;

$\chi_{op}$  der Abminderungsfaktor für den Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{op}$ , mit dem Knicken oder Biegedrillknicken aus der Tragwerksebene berücksichtigt wird, siehe (3).

(3) Der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{op}$  für das Tragwerk oder Teiltragwerk sollte wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}} \quad (6.64)$$

Dabei ist

$\alpha_{ult,k}$  wie in (2);

$\alpha_{cr,op}$  der kleinste Vergrößerungsfaktor für die Bemessungswerte der Belastung, mit dem die ideale Verzweigungslast mit Verformungen aus der Haupttragwerksebene erreicht wird. Dabei werden keine weiteren Verformungen in der Tragwerksebene berücksichtigt.

ANMERKUNG Die Werte  $\alpha_{cr,op}$  und  $\alpha_{ult,k}$  können mit Hilfe von Finite Elementen ermittelt werden.

(4) Der Abminderungsbeiwert  $\chi_{op}$  darf nach einem der folgenden Verfahren ermittelt werden:

a) als kleinster Wert aus den Größen:

$\chi$  für Knicken nach 6.3.1;

$\chi_{LT}$  für Biegedrillknicken nach 6.3.2.

Dabei sind beide Werte für den Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{op}$  zu berechnen.

ANMERKUNG Dieses Verfahren führt z. B. bei der Bestimmung von  $\alpha_{ult,k}$  über den Querschnittsnachweis

$\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$  zu der Bemessungsgleichung:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq \chi_{op} \quad (6.65)$$

b) als Wert, der zwischen  $\chi$  und  $\chi_{LT}$ , beide nach a), interpoliert wird. Dabei darf die Interpolation über die Gleichung für den Querschnittsnachweis durchgeführt werden.

ANMERKUNG Dieses Verfahren führt z. B. bei der Bestimmung von  $\alpha_{ult,k}$  über den Querschnittsnachweis

$\frac{1}{\alpha_{ult,k}} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}}$  zu der Bemessungsgleichung:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi N_{Rk}} + \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (6.66)$$

### 6.3.5 Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken

#### 6.3.5.1 Allgemeines

(1)B Tragwerke dürfen plastisch bemessen werden, wenn Knicken oder Biegedrillknicken des Tragwerks aus seiner Haupttragebene wie folgt verhindert wird:

- a) seitliche Stützungen an allen Fließgelenken mit Rotationsanforderungen, siehe 6.3.5.2;
- b) Stabilitätsnachweis für die Tragwerksabschnitte zwischen solchen Stützungen und anderen seitlichen Lagerungen, siehe 6.3.5.3.

(2)B Wenn an den Fließgelenken unter allen Lastkombinationen im Grenzzustand der Tragfähigkeit keine Rotationen verlangt werden, sind an diesen Fließgelenken keine besonderen seitlichen Stützungen erforderlich.

#### 6.3.5.2 Stützungen an Fließgelenken mit Rotationsanforderungen

(1)B An jedem Fließgelenk mit Rotationsanforderungen ist in der Regel der Querschnitt mit einem angemessenen Widerstand gegen seitliche Verschiebung und Verdrehung zu stützen, die infolge der Rotation im Fließgelenk entstehen können.

(2)B Die seitliche Stützung ist in der Regel durch folgende Maßnahmen vorzunehmen:

- bei Bauteilen mit nur Biegemomenten allein oder Momenten- und Druckbelastung durch seitliche Stützung beider Flansche. Diese kann durch seitliche Stützung eines Flansches und Verdrehungsbehinderung des Querschnitts erfolgen, so dass sich der Druckflansch nicht gegenüber dem Zugflansch verschieben kann, siehe Bild 6.5.
- bei Bauteilen mit nur Biegemomenten allein oder Momenten- und Zugbelastung, bei der eine Platte auf dem Druckflansch aufliegt, durch Verschiebungs- und Verdrehungsbehinderung des Druckflansches (z. B. durch eine geeignete Verbindung mit der Platte, siehe Bild 6.6). Bei Querschnittsschlankheiten, die über die gewalzte I- und H-Querschnitte hinausgehen, sollte die Querschnittsverformung an der Stelle des plastischen Gelenks konstruktiv verhindert werden (z. B. durch eine mit dem Druckflansch verbundene Stegsteife und eine steife Verbindung des Druckflansches mit der Platte).

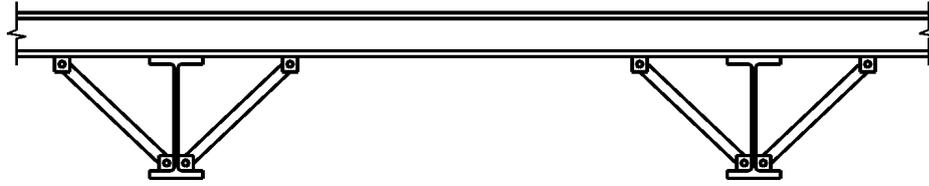
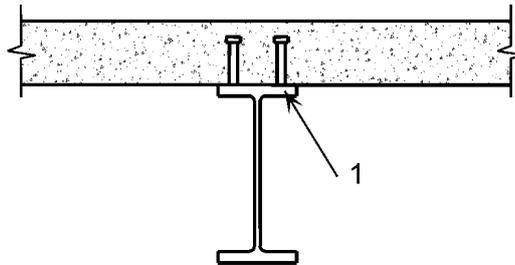


Bild 6.5 — Beispiel für eine Verdrehungsbehinderung



**Legende**

1 Druckflansch

**Bild 6.6 — Beispiel für eine Verschiebungs- und Verdrehungsbehinderung durch eine fest verbundene Betonplatte**

(3)B An jedem Fließgelenk sind in der Regel die Verbindungsmittel (z. B. Schrauben) des Anschlusses des Druckflansches zum stützenden Bauteil (z. B. Pfette) und alle dazwischenliegenden Bauteile (z. B. diagonale Streben) für eine örtliche Belastung von mindestens 2,5 % von  $N_{f,Ed}$ , nach 6.3.5.2(5)B, die vom Flansch in seiner Ebene rechtwinklig zur Stegebene ausgeübt wird, ohne Kombinationen mit anderen Lasten zu bemessen.

(4)B Kann eine solche Stützung nicht direkt am Fließgelenk vorgesehen werden, sollte diese mindestens in einem Abstand von  $h/2$  vom Fließgelenk angeordnet werden, wobei  $h$  die Querschnittshöhe am Fließgelenk ist.

(5)B Für die Bemessung der stützenden Aussteifung, siehe 5.3.3, ist in der Regel zusätzlich zu dem Nachweis mit Imperfektionen nach 5.3.3 sicherzustellen, dass der Widerstand der Aussteifung für folgende lokale Ersatzlasten  $Q_m$ , welche an den jeweiligen zu stabilisierenden Bauteilen an den Stellen der Fließgelenke angreifen, ausreicht:

$$Q_m = 1,5 \alpha_m \frac{N_{f,Ed}}{100} \quad (6.67)$$

Dabei ist

$N_{f,Ed}$  die einwirkende Normalkraft im druckbeanspruchten Flansch im Bereich der Stützung am Fließgelenk;

$\alpha_m$  entsprechend 5.3.3(1).

ANMERKUNG Bei Zusammenwirken mit äußeren Kräften siehe auch 5.3.3(5).

**6.3.5.3 Stabilitätsnachweis für Tragwerksabschnitte zwischen seitlichen Stützungen**

(1)B Der Biegedrillknicknachweis eines Tragwerksabschnitts zwischen zwei seitlichen Stützungen kann geführt werden, indem gezeigt wird, dass der Abstand zwischen den seitlichen Stützungen kleiner als der zulässige Größtabstand ist.

Bei gleichförmigen Tragwerksabschnitten mit I- oder H-Querschnitten mit  $\frac{h}{t_f} \leq 40\varepsilon$  unter linearer Momentenbelastung, ohne erhebliche Druckbelastung, darf der Größtabstand zwischen seitlichen Stützungen wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned} L_{\text{stable}} &= 35 \varepsilon i_z && \text{für } 0,625 \leq \psi \leq 1 \\ L_{\text{stable}} &= (60 - 40\psi) \varepsilon i_z && \text{für } -1 \leq \psi \leq 0,625 \end{aligned} \quad (6.68)$$

Dabei ist

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y \left[ \text{N/mm}^2 \right]}}$$

$$\psi = \frac{M_{\text{Ed,min}}}{M_{\text{pl,Rd}}} \quad \text{das Verhältnis der Endmomente des Tragwerkabschnitts.}$$

ANMERKUNG B Zur Bestimmung von Größtabständen zwischen seitlichen Stützungen siehe Anhang BB.3.

(2)B Tritt ein Fließgelenk mit Rotationsanforderungen direkt an einem Voutenende auf, braucht der Voutenabschnitt mit veränderlichem Querschnitt nicht gesondert nachgewiesen werden, wenn die folgenden Kriterien eingehalten werden:

- die Stützung des Fließgelenks ist in der Regel innerhalb eines Abstands von  $h/2$  vom Fließgelenk auf der angevouteten Seite anzuordnen und nicht auf der nicht gevouteten Seite.
- der Druckflansch der Voute verbleibt über seine Gesamtlänge elastisch.

ANMERKUNG B Zu weiteren Regeln siehe auch Anhang BB.3.

## 6.4 Mehrteilige Bauteile

### 6.4.1 Allgemeines

(1) Gleichförmige mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile, die an ihren Enden gelenkig gelagert und seitlich gehalten sind, sind in der Regel mit folgendem Bemessungsmodell nachzuweisen, siehe Bild 6.7:

- Das Bauteil darf als eine Stütze mit einer Anfangsvorkrümmung mit einem Stichmaß von  $e_0 = \frac{L}{500}$  angesehen werden;
- Die elastischen Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche, siehe Bild 6.7, dürfen durch eine (verschmierte) kontinuierliche Schubsteifigkeit  $S_V$  des Stützenquerschnitts berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Bei davon abweichenden Auflagerbedingungen dürfen entsprechende Anpassungen vorgenommen werden.

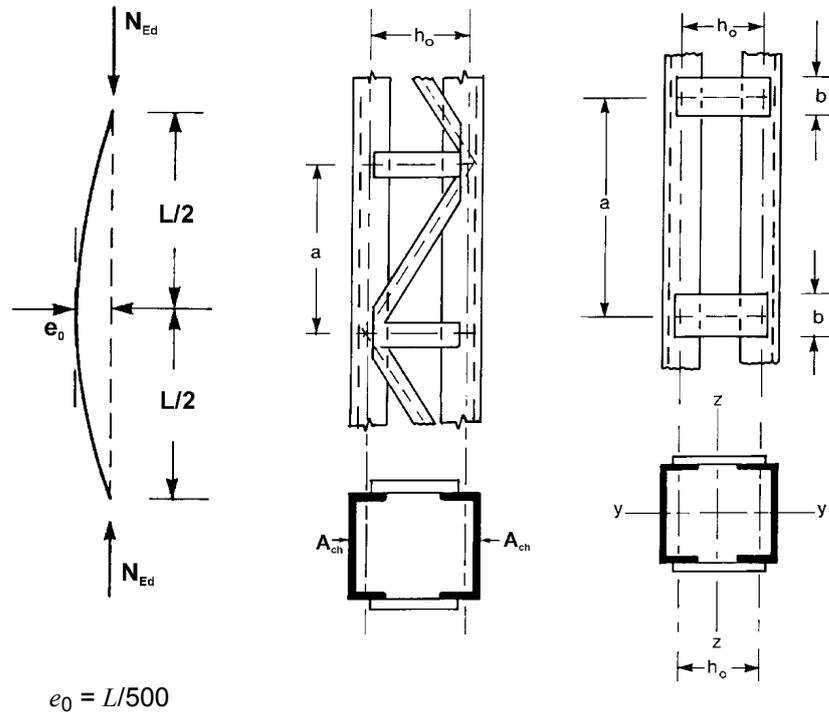
(2) Das Bemessungsmodell für mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile ist anwendbar, wenn:

- die Gitterstäbe und Bindebleche gleichartige wiederkehrende Felder bilden und die Gurtstäbe parallel angeordnet sind;
- eine Stütze aus mindestens 3 Feldern besteht.

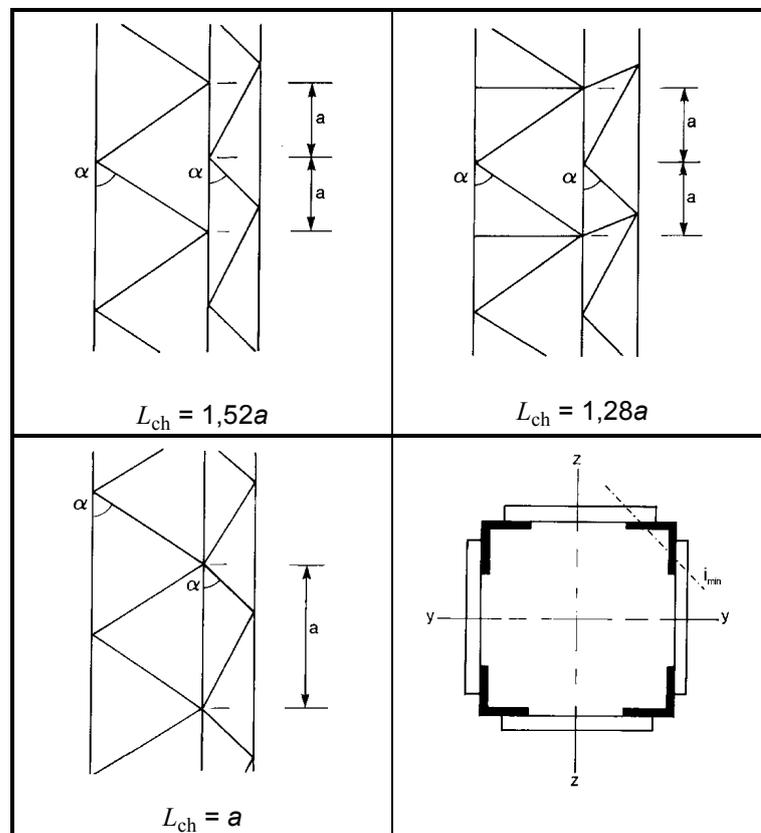
ANMERKUNG Diese Annahme erlaubt, die Stütze als regelmäßig anzusehen und die diskrete Gitterstab- oder Bindeblechstruktur zu einem Kontinuum zu verschmieren.

(3) Das Bemessungsverfahren ist für mehrteilige Querschnitte mit Gitterstäben oder Bindeblechen mit zwei Tragebenen anwendbar, siehe Bild 6.8.

(4) Die Gurtstäbe können Vollquerschnitte sein oder selbst rechtwinklig zur betrachteten Ebene in mehrteilige Bauteile mit Gitterstäben und Bindeblechen aufgelöst sein.



**Bild 6.7 — Gleichförmige mehrteilige Stützen mit Gitterstäben (Gitterstützen) und Bindeblechen (Rahmenstützen)**



**Bild 6.8 — Gitterstützen mit Stäben auf vier Seiten und Knicklänge  $L_{ch}$  der Gurtstäbe**

(5) Die Nachweise für die Gurtstäbe sind in der Regel mit der Gurtstabkraft  $N_{ch,Ed}$  infolge der Druckkräfte  $N_{Ed}$  und der Momente  $M_{Ed}$  in Bauteilmitte zu führen.

(6) Bei Bauteilen mit zwei gleichen Gurtstäben wird in der Regel der Bemessungswert der Gurtstabkraft  $N_{ch,Ed}$  wie folgt ermittelt:

$$N_{ch,Ed} = 0,5 N_{Ed} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff}} \quad (6.69)$$

Dabei ist

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} ;$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} \text{ die effektive ideale Verzweigungslast für das mehrteilige Bauteil;}$$

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft auf das mehrteilige Bauteil;

$M_{Ed}$  der Bemessungswert des einwirkenden maximalen Moments in der Mitte des mehrteiligen Bauteils unter Berücksichtigung der Effekte aus der Theorie II. Ordnung;

$M_{Ed}^1$  der Bemessungswert des einwirkenden maximalen Moments in der Mitte des mehrteiligen Bauteils nach Theorie I. Ordnung (ohne Effekte aus der Theorie II. Ordnung);

$h_0$  der Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe;

$A_{ch}$  die Querschnittsfläche eines Gurtstabes;

$I_{eff}$  das effektive Flächenträgheitsmoment des mehrteiligen Bauteils, siehe 6.4.2 und 6.4.3;

$S_v$  die Schubsteifigkeit infolge der Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche, siehe 6.4.2 und 6.4.3.

(7) Die Nachweise für die Gitterstäbe bei Gitterstützen oder für die lokalen Momente und Querkräfte bei Stützen mit Bindeblechen sind in der Regel für das Gitter- oder Rahmenfeld am Stützenende mit den zugehörigen Querkräften zu führen:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L} \quad (6.70)$$

## 6.4.2 Gitterstützen

### 6.4.2.1 Tragfähigkeit von Elementen von Gitterstützen

(1) Für die druckbeanspruchten Gurtstäbe und für die Gitterstäbe von Gitterstützen sind in der Regel Knicknachweise zu führen.

ANMERKUNG Sekundäre Biegemomente infolge der Knotensteifigkeiten dürfen vernachlässigt werden.

(2) Der Knicknachweis für die Gurtstäbe ist in der Regel wie folgt zu führen:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.71)$$

Dabei ist

$N_{ch,Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft im Gurtstab in der Mitte der mehrteiligen Stütze nach 6.4.1(6);

$N_{b,Rd}$  der Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit des Gurtstabes abhängig von der Knicklänge  $L_{ch}$  aus Bild 6.8.

(3) Die Schubsteifigkeit  $S_V$  der Gitterstäbe kann Bild 6.9 entnommen werden.

(4) Das effektive Flächenträgheitsmoment der Gitterstützen ist wie folgt anzunehmen:

$$I_{eff} = 0,5 h_0^2 A_{ch} \quad (6.72)$$

System			
$S_V$	$\frac{n E A_d a h_0^2}{2 d^3}$	$\frac{n E A_d a h_0^2}{d^3}$	$\frac{n E A_d a h_0^2}{d^3 \left[ 1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$
<p><math>n</math> ist die Anzahl der parallelen Ebenen der Gitterstäbe  <math>A_d</math> und <math>A_v</math> sind die Querschnittsflächen der Gitterstäbe einer Gitterebene</p>			

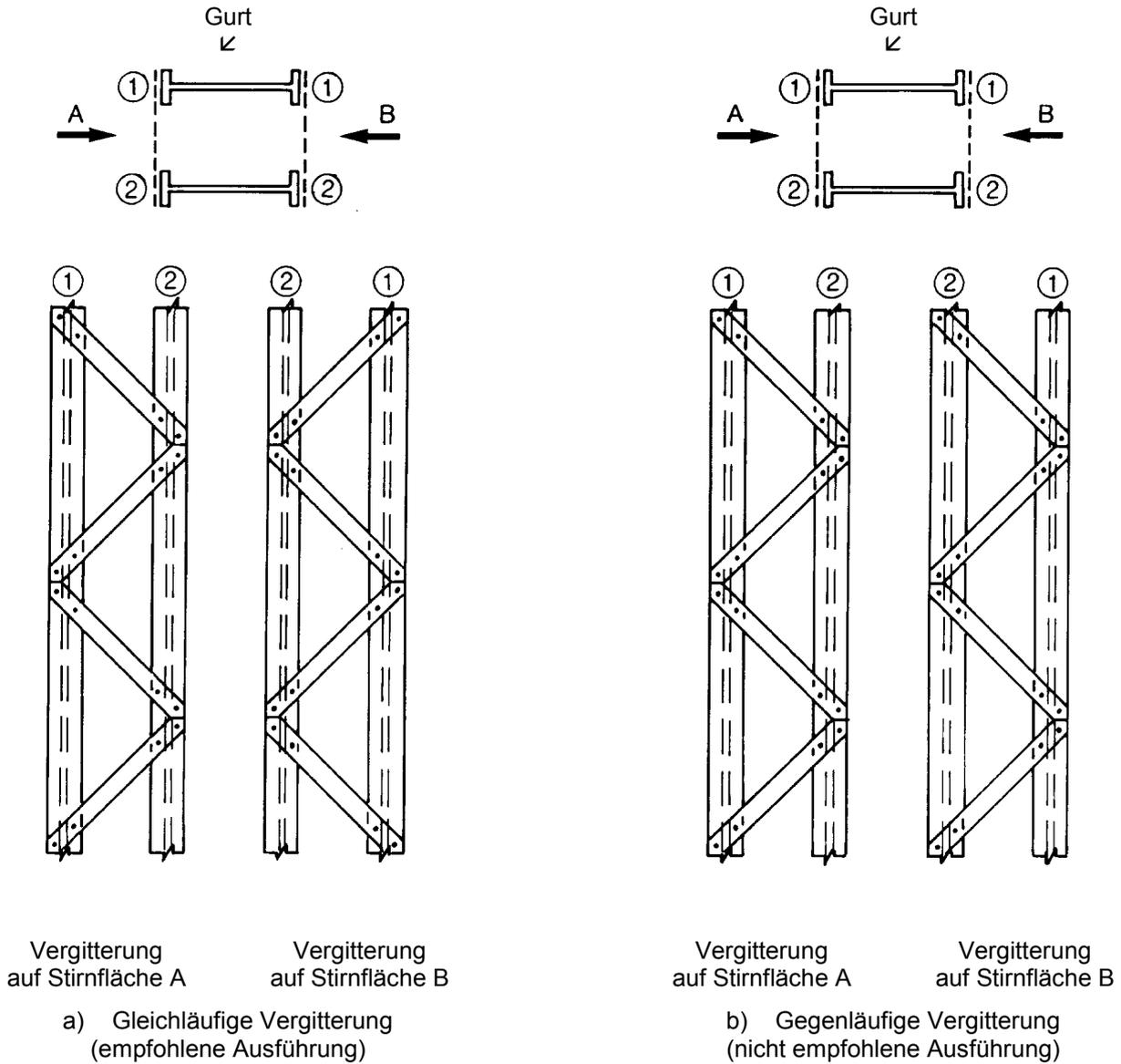
**Bild 6.9 — Schubsteifigkeit von Gitterstützen infolge der Verformungen der Gitterstäbe**

#### 6.4.2.2 Konstruktive Durchbildung

(1) Einfache Vergitterungen auf gegenüberliegenden Seiten von Gitterstützen mit zwei parallelen Ebenen sollten möglichst in gleichläufiger Anordnung ausgeführt werden, siehe Bild 6.10 (a), so dass eine Seite die Projektion der gegenüberliegenden Seite darstellt.

(2) Im Falle einer einfachen Vergitterung mit gegenläufiger Anordnung, siehe Bild 6.10 (b), sind in der Regel die zusätzlichen Verformungen infolge Torsionsbeanspruchung zu berücksichtigen.

(3) An den Enden von Gitterstützen und an Stellen, an denen die Vergitterung unterbrochen wird, sowie an Anschlüssen zu anderen Bauteilen sind Querverbindungen zwischen den Gurtstäben erforderlich.



**Bild 6.10 — Einfache Vergitterung von gegenüberliegenden Seiten von Gitterstützen mit zwei parallelen Ebenen**

**6.4.3 Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen)**

**6.4.3.1 Tragfähigkeit von Komponenten von Stützen mit Bindeblechen**

(1) Für die Gurtstäbe und die Bindebleche, sowie deren Anschlüsse an die Gurtstäbe, sind in der Regel die Tragfähigkeitsnachweise mit den tatsächlichen Momenten und Stabkräften im Endfeld und in Bauteilmitte der Stütze nach Bild 6.11 zu führen.

ANMERKUNG Vereinfachend darf die einwirkende maximale Gurtstabkraft  $N_{ch,Ed}$  mit der maximalen Querkraft  $V_{Ed}$  kombiniert werden.



Tabelle 6.8 — Wirkungsgrad  $\mu$

Kriterium	Wirkungsgrad $\mu$
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0

wobei  $\lambda = \frac{L}{i_0}$ ;  $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ ;  $I_1 = 0,5 h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$

**6.4.3.2 Konstruktive Durchbildung**

- (1) Bindebleche sind immer an den Enden der Stütze vorzusehen.
- (2) Bei Anordnung von Bindeblechen in mehreren parallelen Ebenen sollten diese gegenüberliegend angeordnet werden.
- (3) Bindebleche sollten auch an den Lasteinleitungsstellen und Punkten seitlicher Abstützung vorgesehen werden.

**6.4.4 Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung**

(1) Mehrteilige druckbeanspruchte Bauteile nach Bild 6.12, bei denen die Teile Kontakt haben oder mit geringer Spreizung durch Futterstücke verbunden sind, sowie Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln, die mit paarweise rechtwinklig zueinander angeordneten Bindeblechen nach Bild 6.13 verbunden sind, sind in der Regel als ein Einzelbauteil auf Knickversagen zu überprüfen. Dabei kann die Wirkung der Schubsteifigkeit ( $S_V = \infty$ ) vernachlässigt werden, solange die Voraussetzungen der Tabelle 6.9 eingehalten werden.

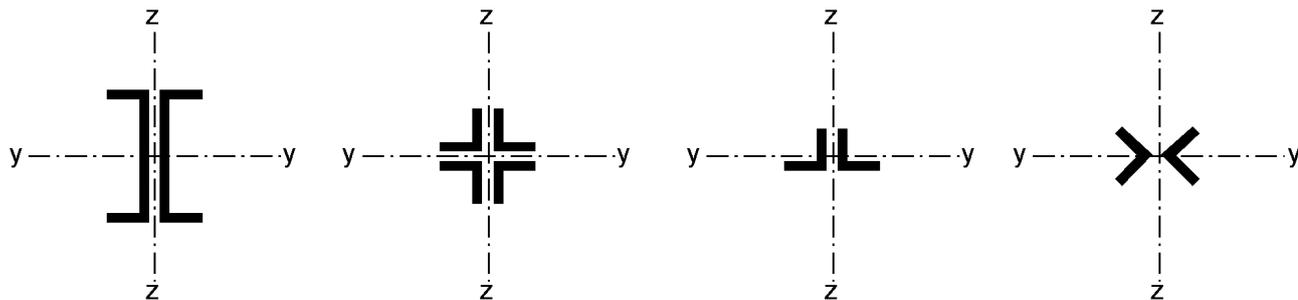


Bild 6.12 — Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung

**Tabelle 6.9 — Maximaler Abstand zwischen den Bindeblechen für mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung oder mehrteilige Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln**

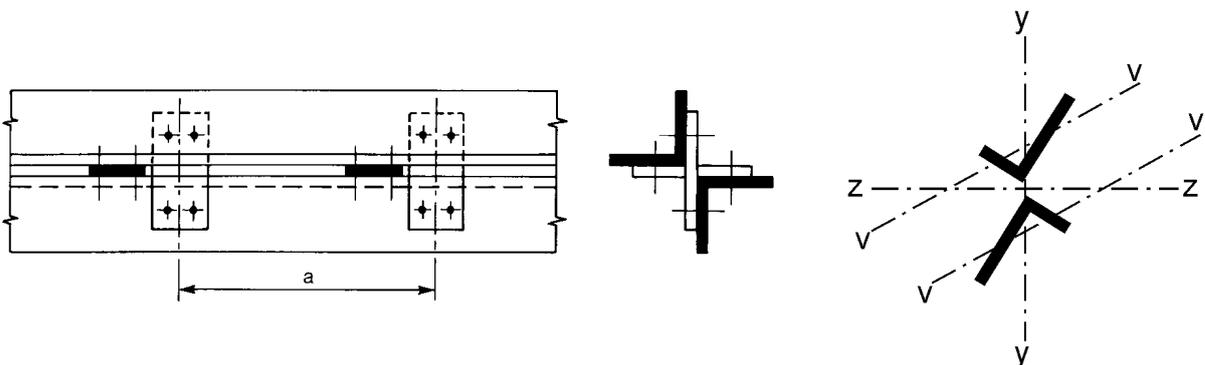
Art der mehrteiligen Querschnitte	Maximaler Abstand zwischen den Achsen von Bindeblechen <sup>a</sup>
Bauteile nach Bild 6.12, die durch Schrauben oder Schweißnähte verbunden sind	15 $i_{\min}$
Bauteile nach Bild 6.13, die durch paarweise angeordnete Bindebleche verbunden sind	70 $i_{\min}$
<sup>a</sup> $i_{\min}$ ist der kleinste Trägheitsradius eines Gurtstabes oder eines Winkels	

(2) Die durch die Bindebleche zu übertragende Querkraft ist in der Regel nach 6.4.3.1(1) zu ermitteln.

(3) Im Falle von ungleichschenkligen Winkeln, siehe Bild 6.13, darf der Nachweis gegen Biegeknicken um die  $y$ - $y$  Achse mit:

$$i_y = \frac{i_0}{1,15} \quad (6.75)$$

geführt werden, wobei  $i_0$  der kleinste Trägheitsradius des mehrteiligen Bauteils ist.



**Bild 6.13 — Mehrteilige Bauteile aus über Eck gestellten Winkeln**

## 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

### 7.1 Allgemeines

(1) Ein Stahltragwerk muss so entworfen und ausgeführt werden, dass es alle maßgebenden Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit erfüllt.

(2) Die grundlegenden Anforderungen an die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind in EN 1990, 3.4 angegeben.

(3) Für ein Bauwerk sollten alle Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit zusammen mit den zugehörigen Lasten und Berechnungsverfahren spezifisch festgelegt werden.

(4) Wird für den Grenzzustand der Tragfähigkeit eine plastische Tragwerksberechnung durchgeführt, können plastische Umlagerungen der Kräfte und Momente bereits im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit auftreten. Falls dies der Fall ist, müssen diese Einflüsse berücksichtigt werden.

## **7.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau**

### **7.2.1 Vertikale Durchbiegung**

(1)B Die Grenzwerte der vertikalen Durchbiegung nach EN 1990, Anhang A1.4, Bild A1.1 sollten für jedes Projekt bestimmt werden und mit dem Auftraggeber abgestimmt sein.

ANMERKUNG B Der Nationale Anhang kann Grenzwerte festlegen.

### **7.2.2 Horizontale Verformungen**

(1)B Die Grenzwerte der horizontalen Verformung nach EN 1990, Anhang A1.4, Bild A1.2 sollten für jedes Projekt bestimmt werden und mit dem Auftraggeber abgestimmt sein.

ANMERKUNG B Der Nationale Anhang kann Grenzwerte festlegen.

### **7.2.3 Dynamische Einflüsse**

(1)B Mit Bezug auf EN 1990, A1.4.4, sind in der Regel Vibrationen in Tragwerken mit öffentlicher Nutzung so zu begrenzen, dass eine starke Beeinträchtigung für den Benutzer vermieden wird. Die Grenzwerte sind in der Regel für jedes Projekt individuell festzulegen und mit dem Auftraggeber abzustimmen.

ANMERKUNG B Der Nationale Anhang kann Grenzwerte festlegen.

## Anhang A (informativ)

### Verfahren 1: Interaktionsbeiwerte $k_{ij}$ für die Interaktionsformel in 6.3.3 (4)

Tabelle A.1 — Interaktionsbeiwerte  $k_{ij}$  (6.3.3 (4))

Bemessungsannahmen		
Interaktionsbeiwerte	elastische Querschnittswerte der Klasse 3, Klasse 4	Plastisch Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2
$k_{yy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
$k_{yz}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
$k_{zy}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
$k_{zz}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$
<b>Hilfswerte:</b>		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $\text{AC} \rangle n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}} \langle \text{AC}$ $C_{my} \text{ siehe Tabelle A.2}$ $a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ <p>mit <math>b_{LT} = 0,5 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^2}{\chi_{LT}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}</math></p> $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ <p>mit <math>c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}</math></p> $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[ \left( 2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ <p>mit <math>d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}</math></p> $\text{AC} \rangle C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[ 2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{\max}^2 - e_{LT} \right] n_{pl} \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \langle \text{AC}$ <p>mit <math>e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}</math></p>	

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_y \\ \bar{\lambda}_z \end{array} \right.$$

$\bar{\lambda}_0$  = Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken infolge konstanter Biegung, z. B.  $\psi_y = 1,0$  in Tabelle A.2

$\bar{\lambda}_{LT}$  = Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken

$$\text{Für } \bar{\lambda}_0 \leq 0,2\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$$

$$\text{gilt: } \begin{array}{l} C_{my} = C_{my,0} \\ C_{mz} = C_{mz,0} \\ C_{mLT} = 1,0 \end{array}$$

$$\text{Für } \bar{\lambda}_0 > 0,2\sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$$

$$\text{gilt: } C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$\overline{AC}$   $C_{mi,0}$  siehe Tabelle A.2  $\overline{AC}$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} \quad \text{für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4}$$

$\overline{AC}$   $C_1$  ist ein von der Belastungssituation und den Lagerungsbedingungen abhängiger Faktor und kann als  $C_1 = k_c^{-2}$  angenommen werden, wobei  $k_c$  der Tabelle 6.6 entnommen werden kann.  $\overline{AC}$

$N_{cr,y}$  = ideale Verzweigungslast für Knicken um die  $y$ - $y$  Achse

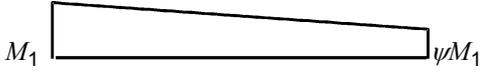
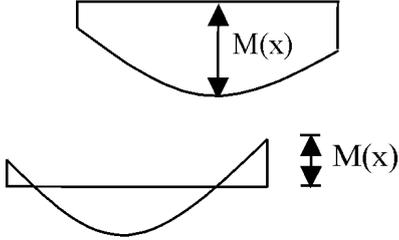
$N_{cr,z}$  = ideale Verzweigungslast für Knicken um die  $z$ - $z$  Achse

$N_{cr,T}$  = ideale Verzweigungslast für Drillknicken

$I_T$  = St. Venant'sche Torsionssteifigkeit

$I_y$  = Flächenträgheitsmoment um die  $y$ - $y$  Achse

Tabelle A.2 — Äquivalente Momentenbeiwerte  $C_{mi,0}$

Momentenverlauf	$C_{mi,0}$
 <p style="text-align: center;"><math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21 \psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 EI_i  \delta_x }{L^2  M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p><math>M_{i,Ed}(x)</math> ist das größere der Momente <math>M_{y,Ed}</math> oder <math>M_{z,Ed}</math>  <math>\overline{AC}</math> nach der Berechnung nach Theorie I. Ordnung <math>\overline{AC}</math>  <math> \delta_x </math> ist die größte Verformung entlang des Bauteils</p>
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

**Anhang B**  
 (informativ)

**Verfahren 2:**  
**Interaktionsbeiwerte  $k_{ij}$  für die Interaktionsformel in 6.3.3 (4)**

**Tabelle B.1 — Interaktionsbeiwerte  $k_{ij}$  für verdrehsteife Bauteile**

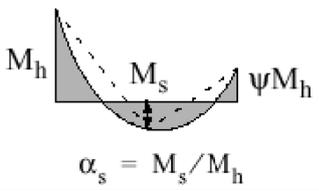
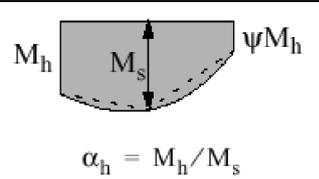
Bemessungsannahmen			
Interaktionsbeiwerte	Art des Querschnitts	elastische Querschnittswerte der Klasse 3, Klasse 4	plastische Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2
$k_{yy}$	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	I-Querschnitte rechteckige Hohlquerschnitte	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	I-Querschnitte	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	rechteckige Hohlquerschnitte		$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Für I- und H-Querschnitte und rechteckige Hohlquerschnitte, die auf Druck und einachsige Biegung  $M_{y,Ed}$  belastet sind, darf der Beiwert  $k_{zy} = 0$  angenommen werden.

Tabelle B.2 — Interaktionsbeiwerte  $k_{ij}$  für verdrehweiche Bauteile

Bemessungsannahmen		
Interaktionsbeiwerte	elastische Querschnittswerte der Klasse 3, Klasse 4	Plastische Querschnittswerte der Klasse 1, Klasse 2
$k_{yy}$	$k_{yy}$ aus Tabelle B.1	$k_{yy}$ aus Tabelle B.1
$k_{yz}$	$k_{yz}$ aus Tabelle B.1	$k_{yz}$ aus Tabelle B.1
$k_{zy}$	$\begin{bmatrix} 1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ \geq \left[ 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \\ \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{bmatrix}$ <p>für <math>\bar{\lambda}_z &lt; 0,4</math>:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
$k_{zz}$	$k_{zz}$ aus Tabelle B.1	$k_{zz}$ aus Tabelle B.1

Tabelle B.3 — Äquivalente Momentenbeiwerte  $C_m$  zu Tabelle B.1 und B.2

Momentenverlauf	Bereich	$C_{my}$ und $C_{mz}$ und $C_{mLT}$		
		Gleichlast	Einzellast	
 $\psi M$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$		
 $\psi M_h$ $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
 $\psi M_h$ $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1 + 2\psi)$	$\boxed{AC} 0,90 + 0,10\alpha_h(1 + 2\psi) \boxed{AC}$

Für Bauteile mit Knicken in Form seitlichen Ausweichens sollte der äquivalente Momentenbeiwert als  $C_{my} = 0,9$  bzw.  $C_{mz} = 0,9$  angenommen werden.

$C_{my}$ ,  $C_{mz}$  und  $C_{mLT}$  sind in der Regel unter Berücksichtigung der Momentenverteilung zwischen den maßgebenden seitlich gehaltenen Punkten wie folgt zu ermitteln:

Momentenbeiwert	Biegeachse	In der Ebene gehalten
$C_{my}$	y-y	z-z
$C_{mz}$	z-z	y-y
$C_{mLT}$	y-y	y-y

## Anhang AB (informativ)

### Zusätzliche Bemessungsregeln

#### AB.1 Statische Berechnung unter Berücksichtigung von Werkstoff-Nichtlinearitäten

(1)B Im Falle von Werkstoff-Nichtlinearitäten dürfen die Schnittgrößen eines Tragwerks durch eine inkrementelle Annäherung der Lasten an die Bemessungswerte für die relevante Bemessungssituation ermittelt werden.

(2)B Bei dieser inkrementellen Annäherung sollten alle ständigen oder nicht-ständigen Lasten proportional erhöht werden.

#### AB.2 Vereinfachte Belastungsanordnung für durchlaufende Decken

(1)B Für Durchlaufträger in Decken von Hochbauten ohne Kragarme, auf die hauptsächlich gleichmäßig verteilte Lasten wirken, ist es ausreichend, die folgenden Lastanordnungen zu berücksichtigen:

- a) die Bemessungswerte der ständigen und nicht-ständigen Lasten ( $\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$ ) wirken zugleich auf jedes zweite aufeinander folgende Feld, auf alle anderen dazwischenliegenden Felder wirkt nur die ständige Last  $\gamma_G G_k$ ;
- b) die Bemessungswerte der ständigen und nicht-ständigen Last ( $\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$ ) wirken auf zwei beliebig benachbarten Feldern, auf allen anderen Feldern wirkt nur die ständige Last  $\gamma_G G_k$ .

ANMERKUNG 1 a) bezieht sich auf die Feldmomente, b) bezieht sich auf die Stützmomente.

ANMERKUNG 2 Es ist beabsichtigt, diesen Anhang zu einem späteren Zeitpunkt in EN 1990 zu überführen.

## Anhang BB (informativ)

### Knicken von Bauteilen in Tragwerken des Hochbaus

#### BB.1 Biegeknicken von Bauteilen von Fachwerken oder Verbänden

##### BB.1.1 Allgemeines

(1)B Bei Fachwerken und Verbänden darf die Knicklänge  $L_{cr}$  für Gurtstäbe in allen Richtungen und bei Fachwerkstäben für Biegeknicken aus der Stegebene gleich der Systemlänge  $L$  angesetzt werden, siehe BB.1.3 (1)B, wenn keine geringere Knicklänge durch genauere Berechnung gerechtfertigt wird.

(2)B Die Knicklänge  $L_{cr}$  eines Gurtstabes mit I- oder H-Querschnitten sollte zu  $0,9L$  für Biegeknicken in der Ebene und zu  $1,0L$  für Biegeknicken aus der Ebene angenommen werden, sofern nicht eine kleinere Knicklänge durch genauere Berechnung gerechtfertigt wird.

(3)B Fachwerkstäbe in Stegen können mit einer kleineren Knicklänge als der Systemlänge für Biegeknicken in der Ebene nachgewiesen werden, wenn die Verbindungen zu den Gurten und die Gurte dieses aufgrund ihrer Steifigkeit und Festigkeit zulassen (z. B. falls geschraubt Mindestanschluss mit 2 Schrauben).

(4)B Unter solchen Bedingungen und für übliche Fachwerke darf die Knicklänge  $L_{cr}$  für Gitterstäbe für Biegeknicken in der Stegebene auf  $0,9L$  abgemindert werden, siehe BB.1.2.

##### BB.1.2 Gitterstäbe aus Winkelprofilen

(1)B Wenn die Gurte eine ausreichende Endeinspannung für Gitterstäbe aus Winkelprofilen darstellen und die Endverbindungen solcher Gitterstäbe ausreichend steif sind (falls geschraubt mindestens zwei Schrauben), dürfen die Exzentrizitäten vernachlässigt und die Endeinspannungen bei der Bemessung der Winkelprofile als druckbelastete Bauteile berücksichtigt werden. Der effektive Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_{eff}$  darf wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda}_{eff,v} = 0,35 + 0,7 \bar{\lambda}_v \quad \text{für Biegeknicken um die } v-v \text{ Achse;}$$

$$\bar{\lambda}_{eff,y} = 0,50 + 0,7 \bar{\lambda}_y \quad \text{für Biegeknicken um die } y-y \text{ Achse;} \quad (\text{BB.1})$$

$$\bar{\lambda}_{eff,z} = 0,50 + 0,7 \bar{\lambda}_z \quad \text{für Biegeknicken um die } z-z \text{ Achse;}$$

wobei  $\bar{\lambda}$  in 6.3.1.2 definiert ist.

(2)B Wird lediglich eine einzige Schraube für die Endverbindungen der Gitterstäbe aus Winkelprofilen verwendet, sollte die Exzentrizität unter Verwendung von 6.2.9 berücksichtigt werden und die Knicklänge  $L_{cr}$  der Systemlänge  $L$  entsprechen.

##### BB.1.3 Bauteile mit Hohlprofilen

(1)B Bei Gurtstäben mit Hohlquerschnitt darf die Knicklänge  $L_{cr}$  für Biegeknicken in und aus der Ebene mit  $0,9L$  angenommen werden, wobei  $L$  die Systemlänge für die betrachtete Fachwerkebene ist. Die Systemlänge in der Fachwerkebene entspricht dem Abstand der Anschlüsse. Die Systemlänge rechtwinklig zur Fachwerkebene entspricht dem Abstand der seitlichen Abstützpunkte, sofern nicht ein kleinerer Wert durch genauere Berechnung rechtfertigt wird.

(2)B Die Knicklänge  $L_{cr}$  einer Fachwerkdiaagonalen mit Hohlquerschnitt darf bei geschraubten Anschlüssen mit  $1,0L$  für Biegeknicken in und aus der Ebene angenommen werden.

(3)B AC Die Knicklänge  $L_{cr}$  eines Verstrebelementes mit Hohlquerschnitt, die ohne Ausschnitte und Endkröpfungen angeschweißt ist, darf für Biegeknicken in und aus der Ebene mit  $0,75 L$  angenommen werden. Geringere Knicklängen können basierend auf Prüfungen und Berechnungen verwendet werden. In diesem Fall darf die Knicklänge der Strebe nicht verringert werden. AC

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Knicklängen können im Nationalen Anhang angegeben sein.

## BB.2 Kontinuierliche seitliche Abstützungen

### BB.2.1 Kontinuierliche seitliche Stützung

(1)B Wenn trapezförmige Bleche nach EN 1993-1-3 an jeder Rippe mit dem Träger verbunden werden und die Gleichung (BB.2) erfüllt wird, darf der Träger in der Ebene der Bleche als starr gelagert betrachtet werden.

$$S \geq \left( EI_w \frac{\pi^2}{L^2} + GI_T + EI_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (\text{BB.2})$$

Dabei ist

- $S$  die Schubsteifigkeit der Bleche (je Längeneinheit Trägerlänge) im Hinblick auf die Verformungen des Trägers in der Blechebene;
- $I_w$  das Wölbfächenmoment des Trägers;
- $I_T$  das Torsionsflächenmoment des Trägers;
- $I_z$  das Flächenträgheitsmoment des Trägerquerschnitts um die schwache Querschnittsachse;
- $L$  die Länge des Trägers;
- $h$  die Höhe des Trägers.

Falls das Blech lediglich an jeder zweiten Rippe mit dem Träger verbunden ist, so sollte  $S$  durch  $0,20 S$  ersetzt werden.

ANMERKUNG Die Gleichung (BB.2) kann auch für den Nachweis der Seitenstabilität von Trägerflanschen bei anderen Scheibenkonstruktionen verwendet werden, wenn die Verbindungen geeignet sind.

### BB.2.2 Kontinuierliche Drehbehinderung

(1)B Ein Träger darf als ausreichend gegen Verdrehung gestützt angesehen werden, wenn das folgende Kriterium erfüllt wird:

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{pl,k}^2}{EI_z} K_{\vartheta} K_{\vartheta} \quad (\text{BB.3})$$

Dabei ist

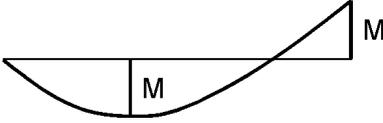
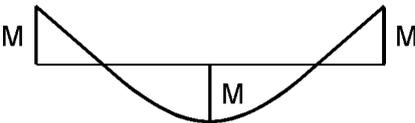
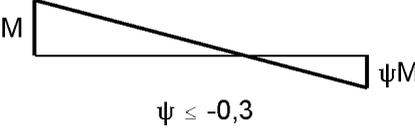
- $C_{\vartheta,k}$  die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit Trägerlänge), die durch das stabilisierende Bauteil (z. B. die Dachkonstruktion) und die Verbindung mit dem Träger wirksam ist;
- $K_{\vartheta}$  = 0,35 für die elastische Berechnung;

$K_v = 1,00$  für die plastische Berechnung;

$K_g$  der Faktor zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Art der Verdrehbarkeit des drehbehindert gestützten Trägers, siehe Tabelle BB.1;

$M_{pl,k}$  der charakteristische Wert der plastischen Momententragfähigkeit des Trägers.

**Tabelle BB.1 — Faktor  $K_g$  zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Art der Lagerung**

Fall	Momentenverlauf	freie Drehachse	gebundene Drehachse
1		4,0	0
2a		3,5	0,12
2b			0,23
3		2,8	0
4		1,6	1,0
5	 $\psi \leq -0,3$	1,0	0,7

(2)B Die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit Trägerlänge) durch das durchgehende Stabilisierungselement (z. B. die Dachkonstruktion) ist wie folgt zu berechnen:

$$\frac{1}{C_{g,k}} = \frac{1}{C_{gR,k}} + \frac{1}{C_{gC,k}} + \frac{1}{C_{gD,k}} \quad (\text{BB.4})$$

Dabei ist

$C_{gR,k}$  die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) des stabilisierenden Bauteils unter der Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger;

$C_{gC,k}$  die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil;

$C_{gD,k}$  die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) infolge von Querschnittsverformungen des Trägers.

ANMERKUNG Weitere Informationen zur Bestimmung der Verdrehsteifigkeit, siehe EN 1993-1-3.

### BB.3 Größtabstände bei Abstützmaßnahmen für Bauteile mit Fließgelenken gegen Knicken aus der Ebene

#### BB.3.1 Gleichförmige Bauteile aus Walzprofilen oder vergleichbaren geschweißten I-Profilen

##### BB.3.1.1 Größtabstände zwischen seitlichen Stützungen

(1)B Biegedrillknicken darf vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge  $L$ , gerechnet von einem Fließgelenk bis zur nächsten seitlichen Stützung, nicht größer als  $L_m$  ist:

$$L_m = \frac{38i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left( \frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left( \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \right) \left( \frac{f_y}{235} \right)^2}} \quad (\text{BB.5})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und das andere Abschnittsende wie folgt gestützt wird, siehe Bild BB.1, Bild BB.2 und Bild BB.3:

- entweder am Druckflansch, wenn ein Flansch über die gesamte Abschnittslänge im Druckbereich liegt;
- oder durch eine Verdrehbehinderung;
- oder durch seitliche Abstützung des Abschnittsende und eine zusätzliche Verdrehbehinderung, die den seitlichen Größtabstand  $L_s$  erfüllt.

Dabei ist

$N_{Ed}$  die einwirkende Druckkraft, in N;

$A$  die Querschnittsfläche, in  $\text{mm}^2$ ;

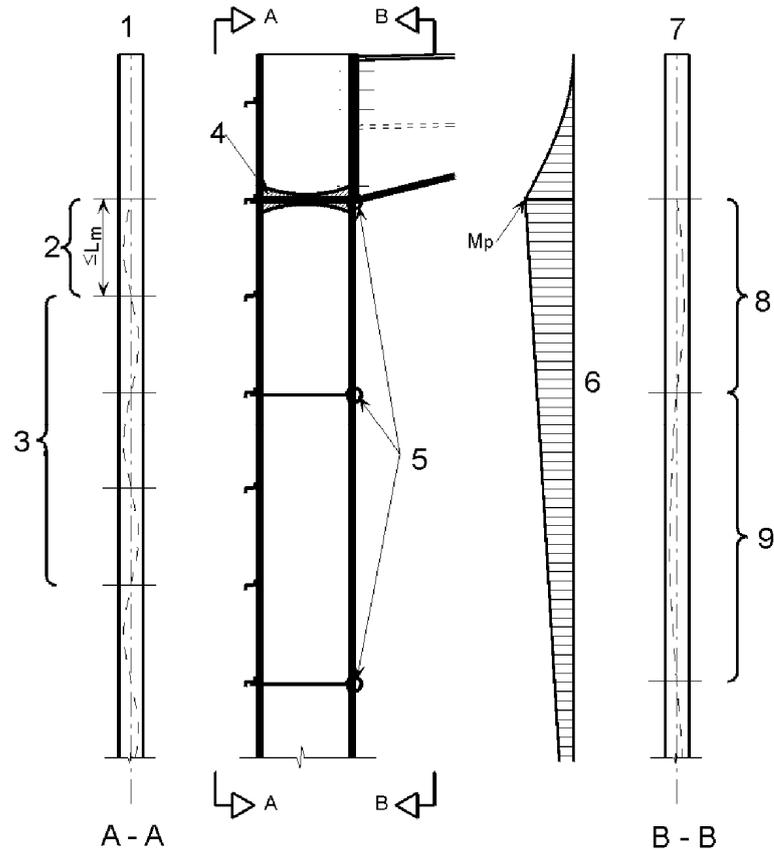
$W_{pl,y}$  das plastisches Widerstandsmoment;

$I_T$  das Torsionsflächenmoment 2. Grades;

$f_y$  die Streckgrenze, in  $\text{N/mm}^2$ ;

$C_1$  AC ein von der Belastungssituation und den Lagerungsbedingungen abhängiger Faktor und kann als  $C_1 = k_c^{-2}$  angenommen werden, wobei  $k_c$  der Tabelle 6.6 entnommen werden kann. AC

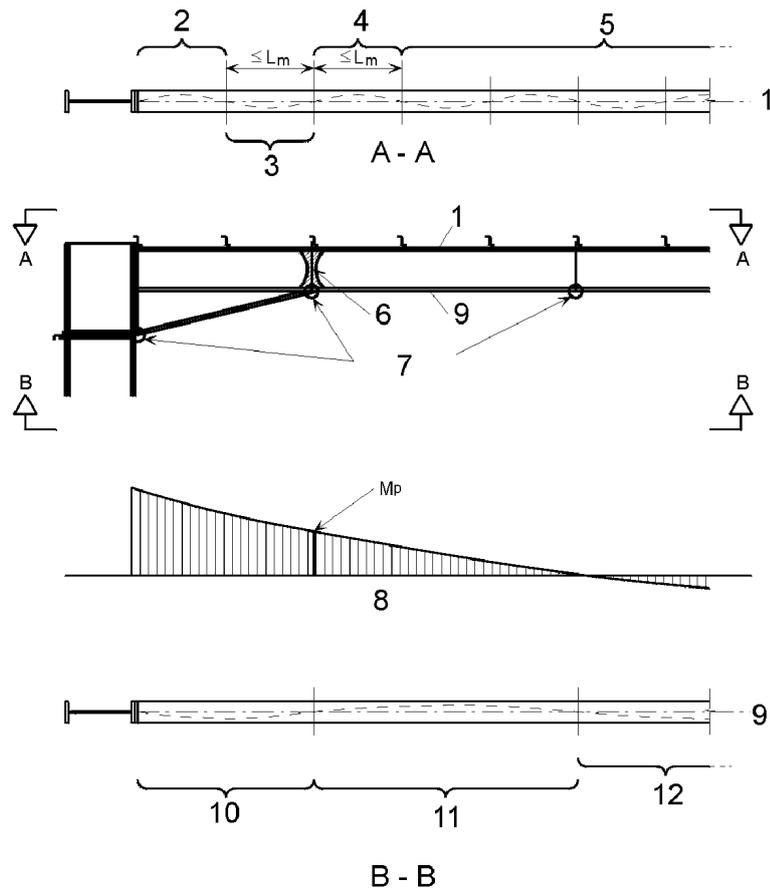
ANMERKUNG Im Allgemeinen ist  $L_s$  größer als  $L_m$ .



### Legende

- 1 Zugflansch
- 2 stabile Abschnittslänge nach BB.3.1.1
- 3 Nachweis nach 6.3
- 4 Fließgelenk
- 5 Abstützungen
- 6 Verlauf des Biegemomentes
- 7 Druckflansch
- 8 Größtabstand nach BB.3.1.2, Gleichung (BB.7) oder Gleichung (BB.8)
- 9 Nachweis nach 6.3 unter Berücksichtigung von Abstützungen des Zugflansches

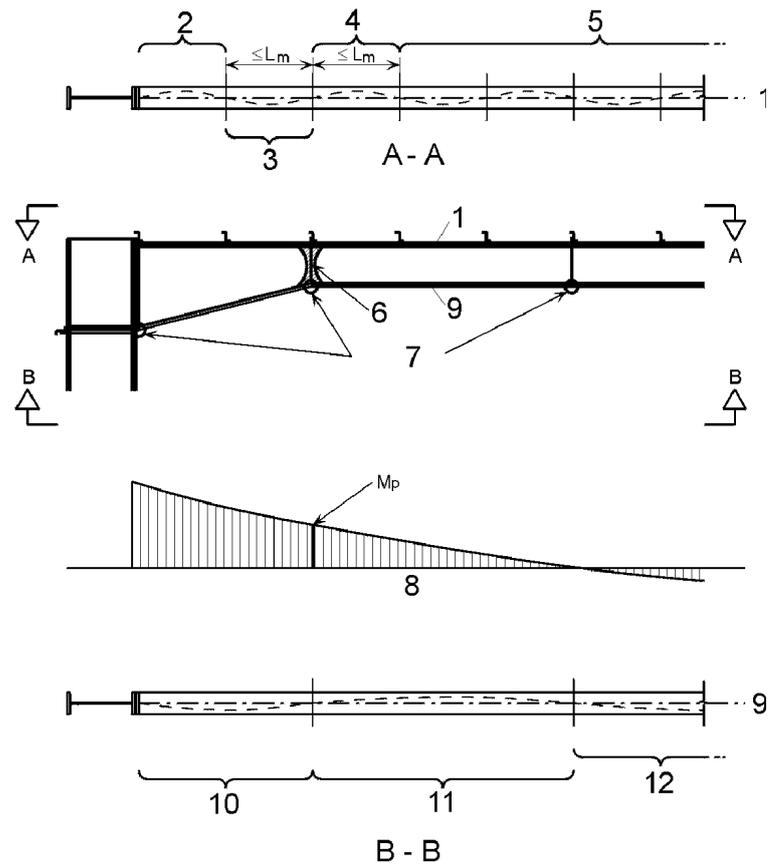
**Bild BB.1 — Angaben zu Nachweisen für Bauteile ohne Vouten**



**Legende**

- 1 Zugflansch
- 2 Nachweis nach 6.3
- 3 Größtabstand nach BB.3.2.1 oder 6.3.5.3(2)B
- 4 Größtabstand nach BB.3.1.1
- 5 Nachweis nach 6.3
- 6 Fließgelenk
- 7 Abstützungen
- 8 Verlauf des Biegemomentes
- 9 Druckflansch
- 10 Größtabstand nach BB.3.2 oder 6.3.5.3(2)B
- 11 Größtabstand nach BB.3.1.2
- 12 Nachweis nach 6.3 unter Berücksichtigung von Abstützungen des Zugflansches

**Bild BB.2 — Angabe zu Nachweisen für Bauteile mit dreiflanshigen Vouten**



### Legende

- 1 Zugflansch
- 2 Nachweis nach 6.3
- 3 Größtabstand nach BB.3.2.1
- 4 Größtabstand nach BB.3.1.1
- 5 Nachweis nach 6.3
- 6 Fließgelenk
- 7 Abstützungen
- 8 Verlauf des Biegemomentes
- 9 Druckflansch
- 10 Größtabstand nach BB.3.2
- 11 Größtabstand nach BB.3.1.2
- 12 Nachweis nach 6.3 unter Berücksichtigung von Abstützungen des Zugflansches

**Bild BB.3 — Angabe zu Nachweisen für Bauteile mit zweiflanschigen Vouten**

### BB.3.1.2 Größtabstand zwischen Verdrehbehinderungen

(1)B Biegedrillknicken darf vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge, gerechnet von einem Fließgelenk bis zur nächsten Verdrehbehinderung bei konstanter Biegemomentenbeanspruchung, nicht größer als  $L_k$  ist:

$$L_k = \frac{\left(5,4 + \frac{600 f_y}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right) i_z}{\sqrt{5,4 \left(\frac{f_y}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right)^2 - 1}} \quad (\text{BB.6})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und mindestens eine Zwischenabstützung zwischen den Verdrehbehinderungen besteht, die die Abstandsbedingung für  $L_m$  nach BB.3.1.1 erfüllt.

(2)B Biegedrillknicken darf vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge  $L$  gerechnet von einem Fließgelenk zur nächsten Verdrehbehinderung bei linearem Momentenverlauf und einer Druckkraft nicht größer als  $L_s$  ist:

$$L_s = \sqrt{C_m} L_k \left( \frac{M_{pl,y,Rk}}{M_{N,y,Rk} + a N_{Ed}} \right) \quad (\text{BB.7})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und mindestens eine Zwischenabstützung zwischen den Verdrehbehinderungen besteht, die die Abstandsbedingung für  $L_m$  nach BB.3.1.1 erfüllt.

Dabei ist

- $C_m$  der Modifikationsfaktor für linearen Momentenverlauf nach BB.3.3.1;
- $a$  der Abstand zwischen der Achse des Bauteils mit Fließgelenk und der Achse der Abstützung der aussteifenden Bauteile;
- $M_{pl,y,Rk}$  der charakteristische Wert der plastischen Biegebeanspruchbarkeit des Querschnitts um die  $y$ - $y$  Achse;
- $M_{N,y,Rk}$  der charakteristische Wert der plastischen Biegebeanspruchbarkeit des Querschnitts um die  $y$ - $y$  Achse unter Berücksichtigung der Abminderung infolge einwirkender Normalkraft  $N_{Ed}$ .

(3)B Biegedrillknicken darf vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge  $L$ , gerechnet von einem Fließgelenk bis zur nächsten Verdrehbehinderung bei nichtlinearem Momentenverlauf und einer Druckkraft, nicht größer als  $L_s$  ist:

$$L_s = \sqrt{C_n} L_k \quad (\text{BB.8})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und mindestens eine Zwischenabstützung zwischen den Verdrehbehinderungen besteht, die die Abstandsbedingung für  $L_m$  erfüllt, siehe BB.3.1.1.

Dabei ist

- $C_n$  der Modifikationsfaktor für den nichtlinearen Momentenverlauf nach BB.3.3.2, siehe Bild BB.1, Bild BB.2 und Bild BB.3.

### **BB.3.2 Voutenförmige Bauteile, die aus Walzprofilen oder vergleichbaren, geschweißten I-Profilen bestehen**

#### **BB.3.2.1 Größtabstand zwischen seitlichen Stützungen**

(1)B Biegedrillknicken darf vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge  $L$ , gerechnet von einem Fließgelenk bis zur nächsten seitlichen Stützung, folgende Grenzwerte nicht überschreitet:

— bei Vouten mit drei Flanschen, siehe Bild BB.2:

$$L_m = \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left( \frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left( \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \right) \left( \frac{f_y}{235} \right)^2}}; \quad (\text{BB.9})$$

— bei Vouten mit zwei Flanschen, siehe Bild BB.3:

$$L_m = 0,85 \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left( \frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left( \frac{W_{pl,y}^2}{AI_T} \right) \left( \frac{f_y}{235} \right)^2}}; \quad (\text{BB.10})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und das Abschnittsende wie folgt gestützt wird:

- entweder durch seitliche Stützung des Druckflansches, wenn ein Flansch über die gesamte Abschnittslänge unter Druck steht;
- oder durch eine Verdrehbehinderung;
- oder eine seitliche Stützung am Abschnittsende und zusätzlich eine Verdrehbehinderung, die der Abstandsbedingung für  $L_s$  genügt.

Dabei ist

$N_{Ed}$  der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft im Bauteil, in N ;

$\frac{W_{pl,y}^2}{AI_T}$  der Größtwert über die Abschnittslänge;

$A$  die Querschnittsfläche des gevouteten Bauteils, in  $\text{mm}^2$ , an der Stelle wo  $\frac{W_{pl,y}}{AI_T}$  maximal wird;

$\overline{\text{AC}} C_1$  ein von der Belastungssituation und den Lagerungsbedingungen abhängiger Faktor und kann als  $C_1 = k_c^{-2}$  angenommen werden, wobei  $k_c$  der Tabelle 6.6 entnommen werden kann.  $\overline{\text{AC}}$

$W_{pl,y}$  das plastische Widerstandsmoment des Bauteils;

$I_T$  das Torsionsträgheitsmoment des Bauteils;

$f_y$  die Streckgrenze, in  $\text{N/mm}^2$ ;

$i_z$  der kleinste Wert des Trägheitsradius über die Abschnittslänge.

### BB.3.2.2 Größtabstand zwischen Verdrehbehinderungen

(1)B Bei gleichförmigen Flanschen und linearem oder nichtlinearem Momentenverlauf und Druckbelastung darf Biegedrillknicken vernachlässigt werden, wenn die Abschnittslänge  $L$  gerechnet von einem Fließgelenk zur nächsten Verdrehbehinderung folgende Grenzwerte nicht überschreitet:

— bei Vouten mit drei Flanschen, siehe Bild BB.2:

$$L_s = \frac{\sqrt{C_n} L_k}{c}; \quad (\text{BB.11})$$

— bei Vouten mit zwei Flanschen, siehe Bild BB.3:

$$L_s = 0,85 \frac{\sqrt{C_n} L_k}{c}; \quad (\text{BB.12})$$

sofern das Bauteil am Fließgelenk entsprechend 6.3.5 gehalten ist und zwischen dem Fließgelenk und der Verdrehbehinderung mindestens eine seitliche Stützung angeordnet wird, die die Abstandsbedingung für  $L_m$  erfüllt, siehe BB.3.2.1.

Dabei ist

$L_k$  der Größtabstand, der für ein gleichförmiges Bauteil mit dem Querschnitt am Schnitt mit der niedrigsten Bauhöhe bestimmt wird, siehe BB.3.1.2;

$C_n$  siehe BB.3.3.2;

$c$  der Voutenfaktor nach BB.3.3.3.

### BB.3.3 Modifikationsfaktor für den Momentenverlauf

#### BB.3.3.1 Linearer Momentenverlauf

(1)B Der Modifikationsfaktor  $C_m$  kann wie folgt bestimmt werden:

$$C_m = \frac{1}{B_0 + B_1 \beta_t + B_2 \beta_t^2} \quad (\text{BB.13})$$

Dabei ist

$$B_0 = \frac{1 + 10\eta}{1 + 20\eta};$$

$$B_1 = \frac{5\sqrt{\eta}}{\pi + 10\sqrt{\eta}};$$

$$B_2 = \frac{0,5}{1 + \pi\sqrt{\eta}} - \frac{0,5}{1 + 20\eta};$$

$$\eta = \frac{N_{crE}}{N_{crT}};$$

$$N_{crE} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_t^2};$$

$L_t$  der Abstand zwischen den Verdrehbehinderungen;

$N_{crT} = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EI_z a^2}{L_t^2} + \frac{\pi^2 EI_w}{L_t^2} + GI_T \right)$  die ideale Verzweigungslast für Torsion des I-Querschnittes mit

Verdrehbehinderungen im Abstand  $L_t$  und Zwischenstützung des Zugflansches.

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2$$

Dabei ist

- $a$  der Abstand zwischen der Bauteilachse und den Achsen der stützenden Bauteile, wie z. B. der Pfetten, die den Rahmenriegel abstützen;
- $\beta_t$  das Verhältnis des kleinsten zum größten Endmoment. Momente, die im nicht gestützten Flansch Druck erzeugen, sollten positiv angesetzt werden. Bei  $\beta_t < -1,0$  sollte  $\beta_t = -1,0$  angesetzt werden, siehe Bild BB.4.

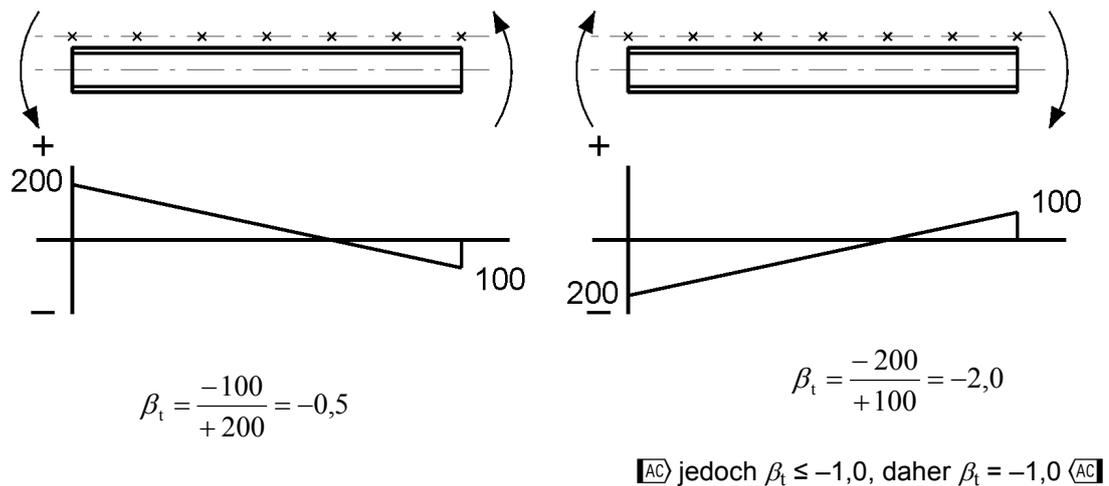


Bild BB.4 — Bestimmung von  $\beta_t$

### BB.3.3.2 Nichtlinearer Momentenverlauf

(1)B Der Modifikationsfaktor  $C_n$  kann wie folgt bestimmt werden:

$$C_n = \frac{12}{[R_1 + 3R_2 + 4R_3 + 3R_4 + R_5 + 2(R_S - R_E)]} \quad (\text{BB.14})$$

Dabei sind die  $R$ -Werte  $R_1$  bis  $R_5$  nach (2)B und Bild BB.5 zu bestimmen. Es sind nur jene  $R$ -Werte einzubeziehen, die positiv sind.

Es sind auch nur positive Werte von  $(R_S - R_E)$  einzusetzen, wobei

- $R_E$  der größere Wert von  $R_1$  und  $R_5$  und
- $R_S$  der Maximalwert von  $R$  an einer beliebigen Stelle der Länge  $L_y$  ist.

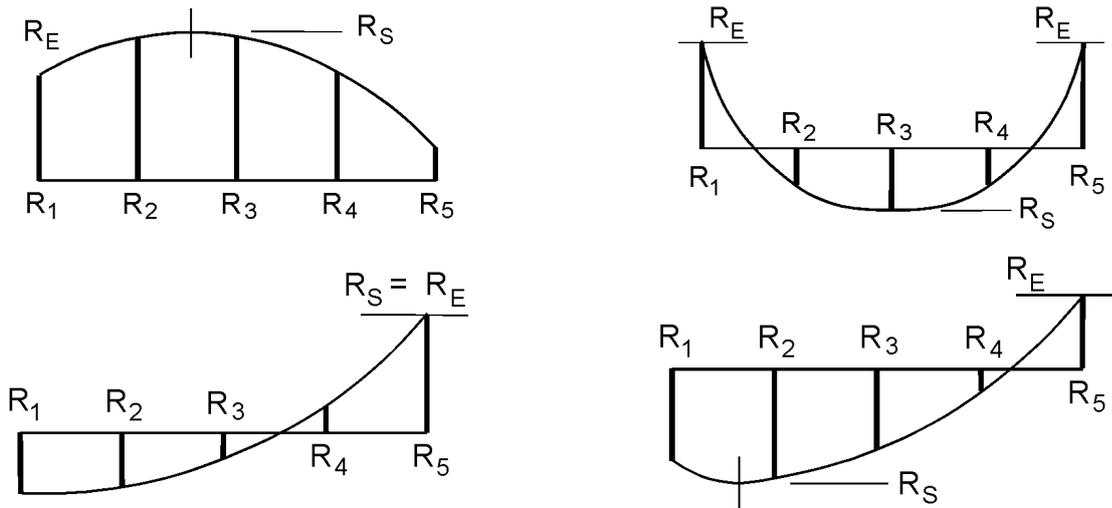


Bild BB.5 — **AC** Momentenwerte **AC**

(2)B Der  $R$ -Wert sollte wie folgt berechnet werden:

$$R = \frac{M_{y,Ed} + a N_{Ed}}{f_y W_{pl,y}} \quad (\text{BB.15})$$

Dabei ist  $a$  der Abstand zwischen der Achse des Bauteils und der Achse der abstützenden Bauteile, wie z. B. der Pfetten, die den Rahmenriegel abstützen.

### BB.3.3.3 Voutenfaktor

(1)B Für Vouten mit gleichförmigen Flanschen und  $h \geq 1,2b$  sowie  $h/t_f \geq 20$  sollte der Voutenfaktor  $c$  wie folgt bestimmt werden:

— bei Bauteilen veränderlicher Höhe nach Bild BB.6(a):

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)} \left(\frac{h_{\max}}{h_{\min}} - 1\right)^{2/3}; \quad (\text{BB.16})$$

— bei Vouten nach Bild BB.6(b) und Bild BB.6(c):

$$c = 1 + \frac{3}{\left(\frac{h}{t_f} - 9\right)} \left(\frac{h_h}{h_s}\right)^{2/3} \sqrt{\frac{L_h}{L_y}}. \quad (\text{BB.17})$$

Dabei ist

- $h_h$  die zusätzliche Höhe infolge der Voute, siehe Bild BB.6;
- $h_{\max}$  die maximale Querschnittshöhe innerhalb der Länge  $L_y$ , siehe Bild BB.6;
- $h_{\min}$  die minimale Querschnittshöhe innerhalb der Länge  $L_y$ , siehe Bild BB.6;
- $h_s$  die Höhe des gleichförmigen Grundprofils, siehe Bild BB.6;
- $L_h$  die Länge der Voute innerhalb der Länge  $L_y$ , siehe Bild BB.6;
- $L_y$  die Länge zwischen den Abstützungen des Druckflansches.

$(h/t_f)$  wird an der Stelle mit der geringsten Querschnittshöhe bestimmt.

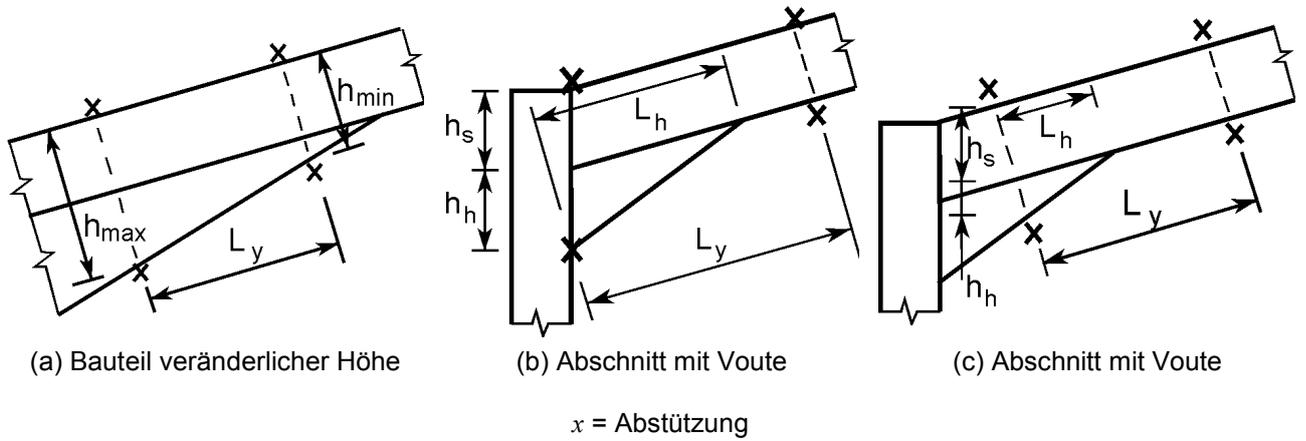


Bild BB.6 — Abmessungen zur Bestimmung des Voutenfaktors  $c$