

1 Stahlbaunormen – DIN EN 1993-1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

Ulrike Kuhlmann und Fabian Jörg

COPYRIGHTED MATERIAL

Stahlbau-Kalender 2024: Eurocode 3 – neue Anwendungsnormen.

Herausgegeben von Ulrike Kuhlmann.

© 2024 Ernst & Sohn GmbH. Published 2024 by Ernst & Sohn GmbH.

Inhaltsverzeichnis

Anmerkung zum Abdruck von DIN EN 1993-1-1	5	2.2	Grundsätzliches zur Bemessung mit Grenzzuständen	17
DIN EN 1993-1-1		2.3	Basisvariable	18
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau	5	2.3.1	Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	18
Nationales Vorwort	5	2.3.2	Werkstoff- und Produkteigenschaften	18
Hintergrund des Eurocode-Programms	5	2.4	Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	18
Status und Gültigkeitsbereich der Eurocodes	6	2.4.1	Bemessungswerte von Werkstoffeigenschaften	18
Nationale Fassungen der Eurocodes	6	2.4.2	Bemessungswerte der geometrischen Größen	18
Verbindung zwischen den Eurocodes und den harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte (EN und ETAG)	7	2.4.3	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	18
Besondere Hinweise zu EN 1993-1	7	2.4.4	Nachweis der Lagesicherheit (EQU)	19
Nationaler Anhang zu EN 1993-1-1	7	2.5	Bemessung mit Hilfe von Versuchen	19
1 Allgemeines	8	3 Werkstoffe	19	
1.1 Anwendungsbereich	8	3.1 Allgemeines	19	
1.1.1 Anwendungsbereich von Eurocode 3	8	3.2 Baustahl	20	
1.1.2 Anwendungsbereich von Eurocode 3 Teil 1-1	9	3.2.1 Werkstoffeigenschaften	20	
1.2 Normative Verweisungen	10	3.2.2 Anforderungen an die Duktilität	22	
1.2.1 Allgemeine normative Verweisungen	10	3.2.3 Bruchzähigkeit	22	
1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustählen	10	3.2.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	22	
1.3 Annahmen	10	3.2.5 Toleranzen	23	
1.4 Unterscheidung nach Grundsätzen und Anwendungsregeln	10	3.2.6 Bemessungswerte der Materialkonstanten	23	
1.5 Begriffe	10	3.3 Verbindungsmittel	23	
1.5.1 Tragwerk	10	3.3.1 Schrauben, Bolzen, Nieten	23	
1.5.2 Teiltragwerke	10	3.3.2 Schweißwerkstoffe	23	
1.5.3 Art des Tragwerks	10	3.4 Andere vorgefertigte Produkte im Hochbau	23	
1.5.4 Tragwerksberechnung	11			
1.5.5 Systemlänge	11	4 Dauerhaftigkeit	23	
1.5.6 Knicklänge	11			
1.5.7 mittragende Breite	11	5 Tragwerksberechnung	24	
1.5.8 Kapazitätsbemessung	11	5.1 Statische Systeme	24	
1.5.9 Bauteil mit konstantem Querschnitt	11	5.1.1 Grundlegende Annahmen	24	
1.6 Formelzeichen	11	5.1.2 Berechnungsmodelle für Anschlüsse	25	
1.7 Definition der Bauteilachsen	16	5.1.3 Bauwerks-Boden-Interaktion	25	
		5.2 Untersuchung von Gesamttragwerken	25	
2 Grundlagen für die Tragwerksplanung	16	5.2.1 Einflüsse der Tragwerksverformung	25	
2.1 Anforderungen	16	5.2.2 Stabilität von Tragwerken	27	
2.1.1 Grundlegende Anforderungen	16	5.3 Imperfektionen	29	
2.1.2 Behandlung der Zuverlässigkeit	17	5.3.1 Grundlagen	29	
2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit	17	5.3.2 Imperfektionen für die Tragwerksberechnung	29	
2.1.3.1 Allgemeines	17	5.3.3 Imperfektionen zur Berechnung aussteifender Systeme	33	
2.1.3.2 Nutzungsdauer bei Hochbauten	17	5.3.4 Bauteilimperfektionen	34	
2.1.3.3 Dauerhaftigkeit von Hochbauten	17			

5.4	Berechnungsmethoden	35	6.3.2.4	Vereinfachtes Bemessungsverfahren für Träger mit Biegedrillknickbehinderungen im Hochbau	58
5.4.1	Allgemeines	35	6.3.3	Auf Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	59
5.4.2	Elastische Tragwerksberechnung	35	6.3.4	Allgemeines Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile	61
5.4.3	Plastische Tragwerksberechnung	36	6.3.5	Biegedrillknicken von Bauteilen mit Fließgelenken	63
5.5	Klassifizierung von Querschnitten	36	6.3.5.1	Allgemeines	63
5.5.1	Grundlagen	36	6.3.5.2	Stützungen an Fließgelenken mit Rotationsanforderungen	63
5.5.2	Klassifizierung	36	6.3.5.3	Stabilitätsnachweis für Tragwerksabschnitte zwischen seitlichen Stützungen	64
5.6	Anforderungen an Querschnittsformen und Aussteifungen am Ort der Fließgelenkbildung	37	6.4	Mehrteilige Bauteile	64
6	Grenzzustände der Tragfähigkeit	41	6.4.1	Allgemeines	64
6.1	Allgemeines	41	6.4.2	Gitterstützen	67
6.2	Beanspruchbarkeit von Querschnitten	41	6.4.2.1	Tragfähigkeit von Elementen von Gitterstützen	67
6.2.1	Allgemeines	41	6.4.2.2	Konstruktive Durchbildung	67
6.2.2	Querschnittswerte	43	6.4.3	Stützen mit Bindeblechen (Rahmenstützen)	67
6.2.2.1	Bruttoquerschnitte	43	6.4.3.1	Tragfähigkeit von Komponenten von Stützen mit Bindeblechen	67
6.2.2.2	Nettofläche	43	6.4.3.2	Konstruktive Durchbildung	68
6.2.2.3	Mittragende Breite	43	6.4.4	Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung	68
6.2.2.4	Wirksame Querschnittswerte bei Querschnitten mit Klasse-3-Stegen und Klasse-1- oder Klasse-2-Gurten bei Momentenbeanspruchung M_y	43	7	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	69
6.2.2.5	Wirksame Querschnittswerte für Querschnitte der Klasse 4	44	7.1	Allgemeines	69
6.2.3	Zugbeanspruchung	44	7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für den Hochbau	69
6.2.4	Druckbeanspruchung	45	7.2.1	Vertikale Durchbiegung	69
6.2.5	Biegebeanspruchung	45	7.2.2	Horizontale Verformungen	69
6.2.6	Querkraftbeanspruchung	45	7.2.3	Dynamische Einflüsse	69
6.2.7	Torsionsbeanspruchung	47	Anhang A (informativ)	70	
6.2.8	Beanspruchung aus Biegung und Querkraft	48		Verfahren 1: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4)	70
6.2.9	Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft	48	Anhang B (informativ)	72	
6.2.9.1	Querschnitte der Klasse 1 und 2	48		Verfahren 2: Interaktionsbeiwerte k_{ij} für die Interaktionsformel in 6.3.3(4)	72
6.2.9.2	Querschnitte der Klasse 3	49	Anhang AB (informativ)	73	
6.2.9.3	Querschnitte der Klasse 4	49		Zusätzliche Bemessungsregeln	73
6.2.10	Beanspruchung aus Biegung, Querkraft und Normalkraft	50	AB.1	Statische Berechnung unter Berücksichtigung von Werkstoff-Nichtlinearitäten	73
6.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile	51	AB.2	Vereinfachte Belastungsanordnung für durchlaufende Decken	73
6.3.1	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck	51			
6.3.1.1	Biegeknicken	51			
6.3.1.2	Knicklinien	51			
6.3.1.3	Schlankheitsgrad für Biegeknicken	51			
6.3.1.4	Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken	54			
6.3.2	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	54			
6.3.2.1	Biegedrillknicken	54			
6.3.2.2	Knicklinien für das Biegedrillknicken – Allgemeiner Fall	56			
6.3.2.3	Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte	57			

Anhang BB (informativ) 73

Knicken von Bauteilen in Tragwerken
des Hochbaus 73

- BB.1 Biegeknicken von Bauteilen von
Fachwerken oder Verbänden 73
- BB.1.1 Allgemeines 73
- BB.1.2 Gitterstäbe aus Winkelprofilen 74
- BB.1.3 Bauteile mit Hohlprofilen 75
- BB.2 Kontinuierliche seitliche Abstützungen 75
- BB.2.1 Kontinuierliche seitliche Stützung 75
- BB.2.2 Kontinuierliche Drehbehinderung 75
- BB.3 Größtabstände bei Abstützmaßnahmen
für Bauteile mit Fließgelenken gegen
Knicken aus der Ebene 77
- BB.3.1 Gleichförmige Bauteile aus Walzprofilen
oder vergleichbaren geschweißten
I-Profilen 77
- BB.3.1.1 Größtabstände zwischen seitlichen
Stützungen 77
- BB.3.1.2 Größtabstand zwischen
Verdrehbehinderungen 79
- BB.3.2 Voutenförmige Bauteile, die aus
Walzprofilen oder vergleichbaren,
geschweißten I-Profilen bestehen 79
- BB.3.2.1 Größtabstand zwischen seitlichen
Stützungen 79
- BB.3.2.2 Größtabstand zwischen
Verdrehbehinderungen 80
- BB.3.3 Modifikationsfaktor für den
Momentenverlauf 80
- BB.3.3.1 Linearer Momentenverlauf 80
- BB.3.3.2 Nichtlinearer Momentenverlauf 80
- BB.3.3.3 Voutenfaktor 81

Anhang C (normativ) 82

- Auswahl der Ausführungsklasse 82
- C.1 Allgemeines 82
- C.1.1 Grundanforderungen 82
- C.1.2 Ausführungsklasse 82
- C.2 Auswahlverfahren 82
- C.2.1 Maßgebende Faktoren 82
- C.2.2 Auswahl 83
- Ausführungsklasse EXC1 83
- Ausführungsklasse EXC2 84
- Ausführungsklasse EXC3 84
- Ausführungsklasse EXC4 84

Literatur zu den Kommentaren 85

Anmerkung zum Abdruck von DIN EN 1993-1-1

Auf den folgenden Seiten wird der Normtext von DIN EN 1993-1-1:2010-12 in zweispaltiger Darstellung wiedergegeben. In den Normtext von DIN EN 1993-1-1:2010-12 sind die Änderungen gemäß DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 eingearbeitet. Zusätzlich wird der aktualisierte Nationale Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2018-12 an den jeweiligen Stellen im Normtext zitiert.

Um einen guten Lesefluss zu garantieren, wurde für die Darstellungsart Folgendes festgelegt. Der Normtext wird zweispaltig und durchgehend dargestellt. Auf eine besondere Kennzeichnung der Berichtigungen wird verzichtet. Textstellen aus dem Nationalen Anhang werden durch einen zur Blattmitte hin offenen, grauen Rahmen gekennzeichnet. Links oben befindet sich dabei die Bezeichnung NDP (Nationally Determined Parameters) für national festgelegte Parameter und NCI (Non-contradictory Complementary Information) für ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-1. Kommentare zum Normtext werden in einem grauen Kasten im unteren Bereich der rechten Spalte in serifenloser Schrift abgedruckt.

DIN EN 1993-1-1

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

ICS 91.010.30; 91.080.10

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument 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 005-0816 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.

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 80er Jahren führte.

Im Jahre 1989 entschieden sich die Kommission und die Mitgliedsländer der Europäischen Union und der EFTA, die Entwicklung und Veröffentlichung der Eu-

rocodes über eine Reihe von Mandaten an CEN zu übertragen, damit diese den Status von Europäischen Normen (EN) erhielten. Grundlage war eine Vereinbarung¹⁾ 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*;
- 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 Mitgliedsändern 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;

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).

- als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte (ENs und ETAs)

Die Eurocodes haben, da sie sich auf Bauwerke beziehen, eine direkte Verbindung zu den Grundlagendokumenten²⁾, auf die in Artikel 12 der Bauproduktenrichtlinie hingewiesen wird, wenn sie auch anderer Art sind als die harmonisierten Produktnormen³⁾. 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.

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.

Zu Hintergrund des Eurocode-Programms

Die Bauproduktenrichtlinie 89/106/EWG aus dem Jahr 1989 wurde inzwischen überarbeitet und im Jahr 2013 vollumfänglich durch die Europäische Bauproduktenverordnung BauPVO ersetzt.

Der Nationale Anhang darf nur Hinweise zu den Parametern geben, die im Eurocode für nationale Entscheidungen

- 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.

dungen 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, 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 ETAZ)

Die harmonisierten Technischen Spezifikationen für Bauprodukte und die technischen Regelungen für die Tragwerksplanung⁴⁾ 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.

Die Zahlenwerte für γ -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 Bemessung und Konstruktion von Stahl- und Tiefbauten 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)P;
- 3.2.3(3)B;
- 3.2.4(1);
- 5.2.1(3);
- 5.2.2(8);
- 5.3.2(3);
- 5.3.2(11);
- 5.3.4(3);
- 6.1(1);
- 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;
- C.2.2(3);
- C.2.2(4).

Darüber hinaus enthält NA 2.2 ergänzende, nicht widersprechende Angaben zur Anwendung von DIN EN 1993-1-1:2010-12 und DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07. Diese sind durch ein vorangestelltes „NCI“ (*en: non-contradictory complementary information*) gekennzeichnet.

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.

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 1090-1, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 1: Konformitätsnachweisverfahren für tragende Bauteile*
- EN 1090-2, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken*
- EN 1992 bis EN 1999, soweit auf Stahltragwerke oder Stahlbaukomponenten Bezug genommen wird.

NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 1.1.1(3)

DIN EN 1990:2010-12, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002*

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

DIN EN 1993-1-1:2010-12, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005*

DIN EN 1993-1-10/NA:2010-12 *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung*

DIN EN 1993-1-12: *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-12: Zusätzliche Regeln zur Erweiterung von EN 1993 auf Stahlsorten bis S 700*

SEP 1390, *STAHL-EISEN-Prüfblatt des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute*

EN 10164:2004, *Stahlerzeugnisse mit verbesserten Verformungseigenschaften senkrecht zur Erzeugnisoberfläche – Technische Lieferbedingungen*

DIN EN 10210-1:2006, *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 1: Technische Lieferbedingungen*
 DIN EN 10219-1:2006, *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen – Teil 1: Technische Lieferbedingungen*

(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.

Zu 1.1.1(1)

Diese Norm gilt nicht nur für Bauwerke aus Stahl, sondern auch für stählerne Bauteile anderer Tragkonstruktionen. Der Ausdruck Entwurf, Berechnung und Bemessung versucht den englischen Begriff „design“ wiederzugeben, der sowohl Bemessung wie Konstruktion umfasst.

Zu 1.1.1(3)

Es gilt generell das Mischungsverbot, das heißt, dass europäische Normen nur im Zusammenhang mit den jeweils anderen europäischen Normen verwandt werden dürfen und nicht mit Normen wie z. B. der inzwischen zurückgezogenen nationalen Normenreihe DIN 18800. Das gilt insbesondere auch für DIN 18800-7 Ausführung und Herstellerqualifikation, die durch EN 1090-1 bzw. EN 1090-2 ersetzt wurde. Zu EN 1090 stellt die aktuelle Änderung DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 den Verweis auf die jetzt gültigen Fassungen richtig.

Zu NCI zu 1.1.1(3)

Als NCI (*National Non-Contradictory Complementary Information*) sind spezifische Normen genannt, auf die im Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 besonders verwiesen wird.

Zu 1.1.1(4)

Die genaue Bezeichnung der Normenreihe, die häufig einfach „Eurocode 3“ genannt wird, ist EN 1993. Hierbei handelt es sich um ein europäisches Dokument, das für Deutschland als Normenreihe DIN EN 1993 und für Österreich als Normenreihe ÖNORM EN 1993 usw. veröffentlicht wurde.

Für undatierte Normen gelten jeweils ihre aktuell gültigen Fassungen, Normenangaben mit Datum wie im NCI zu 1.1.1(3) beziehen sich immer nur auf die genannte Fassung, vgl. 1.2.

(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: Kaltgeformte Bauteile und Bleche*;

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 Schalentragwerken*;

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

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: Für kaltgeformte Bauteile und Bleche siehe EN 1993-1-3.

(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.

Zu 1.1.2 Anmerkung

Der Gültigkeitsbereich mit Blechdicke $t \geq 3$ mm ist leider nicht ganz stimmig mit den übrigen Teilen von EN 1993. Zur Harmonisierung wurde mit der A1-Änderung eine entsprechende Anpassung von EN 1993-1-1 vorgenommen. Man unterscheidet darin zwischen der Nennblechdicke t_{nom} , also der Blechdicke einschließlich des Zinküberzugs oder anderer metallischer Überzüge nach dem Kaltwalzen entsprechend den Herstellerangaben, und der Bemessungsdicke t_d , der Stahlkerndicke, die bei der rechnerischen Bemessung zur Verwendung kommt. Der jetzt gültige Normtext wird um eine Regel für Bleche mit Dicken < 3 mm und $> 1,5$ mm ergänzt. Während für Nennblechdicken bis 3 mm die Bemessungsdicke t_d der Nennblechdicke t_{nom} entspricht, wird für dünnere Bleche die Toleranz mitberücksichtigt. Die Bemessungsdicke t_d bestimmt sich dann aus der Stahlkerndicke t_{cor} , also der Nennblechdicke ohne Metallüberzug, und der unteren Toleranzgrenze tol wie folgt:

$$t_d = t_{cor}, \quad \text{wenn } tol < 5 \% \quad \text{bzw.}$$

$$t_d = t_{cor}(100 - tol)/95 \quad \text{wenn } tol > 5 \%$$

mit

$t_{cor} = t_{nom} - t_{metallcoatings}$ und tol als untere Toleranzgrenze in %. Der ursprüngliche Titel von EN 1993-1-3 war *Kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche*, auf die Einschränkung „dünnwandige“ wurde inzwischen im Titel verzichtet, auch wenn nach wie vor im Wesentlichen dünne Bleche behandelt werden. Dünnwandige Hohlprofile dagegen werden meist nach EN 1993-1-1 bemessen, so dass es notwendig schien, eine entsprechend harmonisierte Blechdickenregel für Bleche < 3 mm einzuführen. Theoretisch könnte wie in EN 1993-1-1 die Bemessungsdicke nun auf 0,45 mm herabgesetzt werden, was aber sicher nicht sinnvoll ist, da EN 1993-1-1 nur Stabbemessung enthält. Deshalb hat man die Anwendungsgrenze auf 1,5 mm gelegt hat. Die Blechdickenregelungen in EN 1993-1-3 und auch in EN 1993-1-8 werden in der Überarbeitung entsprechend angepasst. In EN 1993-1-8 liegt die Regelung für Hohlprofile in 7.1.1(5) bei 2,5 mm. Dies hängt von den zugrunde liegenden Versuchsreihen ab, kann aber wahrscheinlich auf 1,5 mm heruntergesetzt werden. Für das Schweißen von Blechen wird zurzeit in EN 1993-1-8, 4.1(1) generell 4 mm als Grenzdicke genannt. Für kleinere Dicken wird auf EN 1993-1-3 verwiesen. Auch hier muss eine Anpassung erfolgen.

Die Abkürzung ()B steht für „buildings“, also im weiteren Sinne der Bereich des gewöhnlichen Hochbaus. Leider ist dieser Anwendungsbereich nicht weiter spezifiziert, man muss also selbst entscheiden, ob diese gekennzeichneten zusätzlichen Anwendungsregeln und Vereinfachungen für den betrachteten Fall auch anwendbar sind.

Die im Text verwendete Abkürzung ()P bedeutet „principle“ – diese Regel ist also in jedem Falle einzuhalten.

(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

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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 aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) – Anforderungen und Prüfungen*

1.2.2 Normative Verweisungen zu schweißgeeigneten Baustählen

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 normalgeglüht/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*

file 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:

Zu 1.3(1)

DIN 18800-7 Stahlbauten – Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation [K3] wurde inzwischen durch EN 1090 Teil 1 und Teil 2 ersetzt. Die Koexistenzphase beider Normen ist zum 1. Juli 2014 ausgelaufen, das heißt, die Anwendung von EN 1090 ist verpflichtend. Bis zu diesem Datum war die Anwendung von DIN 18800-7 und der Nachweis nach alter Herstellerqualifikation noch möglich, setzte aber dann zwingend eine Bemessung nach DIN 18800:2008 [K1, K2] voraus.

Zu 1.5.3

Für Tragwerke mit verformbaren Anschlüssen ist ggf. bei der Schnittgrößen- und Verformungsberechnung der Tragwerke auch die Steifigkeit der Anschlüsse selber zu berücksichtigen, Hinweise dazu sind zum Beispiel in EN 1993-1-8 Kapitel 5 gegeben. Gelenktragwerke sind auch solche Tragwerke, bei denen rechnerisch ein Gelenk, also keine Übertragung von Momenten, angenommen wird.

- **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 ideale Verzweigungslast 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 eingepprägten 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 aufgetragenen 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;
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit;
γ_{Mi}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit für die Versagensform i ;
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsbeanspruchbarkeit;
η	Umrechnungsfaktor;
a_d	Bemessungswert einer geometrischen Größe.

Abschnitt 3

f_y	Streckgrenze;
f_u	Zugfestigkeit;
R_{eH}	Streckgrenze nach Produktnorm;
R_m	Zugfestigkeit nach Produktnorm;
A_0	Anfangsquerschnittsfläche;
ε_y	Fließdehnung;
ε_u	Gleichmaßdehnung;

Zu 1.6

Einige Formelzeichen stimmen nicht mit den aus der deutschen Normung gewohnten Zeichen überein. Beispiele sind:

t_w statt t_s	Stegdicke
t_f statt t_g	Gurtdicke
d statt $h - 2c$	Höhe des geraden Stegteils
χ statt κ	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knicklinie
χ_{LT} statt k_M	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken
$c_{\theta R,k}$ statt $c_{\theta,k}$	Rotationssteifigkeit statt Drehbettung
L_{cr} statt s_k	Knicklänge

Z_{Ed}	erforderlicher Z-Wert des Werkstoffs aus Dehnungsbeanspruchung in Blechdickenrichtung;	$\alpha_{ult,k}$	Kleinsten 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.
Z_{Rd}	verfügbare Z-Wert des Werkstoffs in Blechdickenrichtung;		
E	Elastizitätsmodul;		
G	Schubmodul;		
ν	Poissonsche Zahl, Querkontraktionszahl;		
α	Wärmeausdehnungskoeffizient.		

Abschnitt 5

a_{cr}	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die ideale Verzweigungslast zu erreichen;		
F_{Ed}	Bemessungswert der Einwirkungen auf das Tragwerk;	α_{cr}	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die ideale Verzweigungslast bei Ausweichen aus der Ebene (siehe $\alpha_{ult,k}$) zu erreichen;
F_{cr}	ideale Verzweigungslast auf der Basis elastischer Anfangssteifigkeiten;	q	Ersatzkraft pro Längeneinheit auf ein stabilisierendes System äquivalent zur Wirkung von Imperfektionen;
H_{Ed}	Bemessungswert der gesamten horizontalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub);	δ_q	Durchbiegung des stabilisierenden Systems unter der Ersatzkraft q ;
V_{Ed}	Bemessungswert der gesamten vertikalen vom Stockwerk (Stockwerksdruck) übertragenen Last am Tragwerk;	q_d	Bemessungswert der Ersatzkraft q pro Längeneinheit;
$\delta_{H,Ed}$	Horizontalverschiebung der oberen Knoten gegenüber den unteren Knoten eines Stockwerks infolge H_{Ed} ;	M_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments;
$\frac{h}{\lambda}$	Stockwerkshöhe;	k	Beiwert für $e_{0,d}$;
λ	Schlankheitsgrad;	ϵ	Dehnung;
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft (Druck);	σ	Normalspannung;
ϕ	Anfangsschiefstellung;	$\sigma_{com,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Druckspannung in einem Querschnittsteil;
ϕ_0	Ausgangswert der Anfangsschiefstellung;	ℓ	Länge;
a_h	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit der Stützhöhe h ;	ϵ	Faktor in Abhängigkeit von f_y ;
h	Tragwerkshöhe;	c	Breite oder Höhe eines Querschnittsteils;
a_m	Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Anzahl der Stützen in einer Reihe;	α	Anteil eines Querschnittsteils unter Druckbeanspruchung;
m	Anzahl der Stützen in einer Reihe;	ψ	Spannungs- oder Dehnungsverhältnis;
e_0	Amplitude einer Bauteilimperfektion;	k_σ	Beulfaktor;
L	Bauteillänge;	d	Außendurchmesser runder Hohlquerschnitte.
η_{init}	Form der geometrischen Vorimperfektion aus der Eigenfunktion η_{cr} bei der niedrigsten Verzweigungslast;		
η_{cr}	Eigenfunktion (Modale) für die Verschiebungen η bei Erreichen der niedrigsten Verzweigungslast;		
$e_{0,d}$	Bemessungswert der Amplitude einer Bauteilimperfektion;		
M_{Rk}	charakteristischer Wert der Momenten-tragfähigkeit eines Querschnitts;		
N_{Rk}	charakteristischer Wert der Normalkraft-tragfähigkeit eines Querschnitts;		
α	Imperfektionsbeiwert;		
$EI\eta''_{cr}$	Eigenfunktion (Modale) der Biegemomente $EI\eta''$ bei Erreichen der niedrigsten Verzweigungslast;		
χ	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knicklinie;		

Abschnitt 6

γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (bei Anwendung von Querschnittsnachweisen);
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen);
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung;
$\sigma_{x,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung;
$\sigma_{z,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannung in Querrichtung;
τ_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung;
N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft;

$M_{y,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die y - y -Achse;	A	Querschnittsfläche;
$M_{z,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Momentes um die z - z -Achse;	A_w	Fläche des Stegbleches;
N_{Rd}	Bemessungswert der Normkrafttragfähigkeit;	A_f	Fläche eines Flansches;
$M_{y,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die y - y -Achse;	T_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes;
$M_{z,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit um die z - z -Achse;	T_{Rd}	Bemessungswert der Torsionstragfähigkeit;
s	Lochabstand bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion parallel zur Bauteilachse;	$T_{t,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden St. Venant'schen Torsionsmoments;
p	Lochabstand bei versetzten Löchern gemessen als Abstand der Lochachsen in der Projektion senkrecht zur Bauteilachse;	$T_{w,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Wölbtorsionsmoments;
n	Anzahl der Löcher längs einer kritischen Risslinie (in einer Diagonalen oder Zickzacklinie), die sich über den Querschnitt oder über Querschnittsteile erstreckt;	$\tau_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge St. Venant'scher (primärer) Torsion;
d_0	Lochdurchmesser;	$\tau_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung infolge Wölbkrafttorsion;
e_N	Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts mit der Fläche A ;	$\sigma_{w,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalspannungen infolge des Bimoments B_{Ed} ;
ΔM_{Ed}	Bemessungswert eines zusätzlichen einwirkenden Momentes infolge der Verschiebung e_N ;	B_{Ed}	Bemessungswert des einwirkenden Bimoments;
A_{eff}	wirksame Querschnittsfläche;	$V_{pl,T,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit abgemindert infolge T_{Ed} ;
$N_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit;	ρ	Abminderungsbeiwert zur Bestimmung des Bemessungswerts der Momententragfähigkeit unter Berücksichtigung von V_{Ed} ;
$N_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Bruttoquerschnitts;	$M_{V,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit abgemindert infolge V_{Ed} ;
$N_{u,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit des Nettoquerschnitts längs der kritischen Risslinie durch die Löcher;	$M_{N,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit abgemindert infolge N_{Ed} ;
A_{net}	Nettoquerschnittsfläche;	n	Verhältnis von N_{Ed} zu $N_{pl,Rd}$;
$N_{net,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Normalkrafttragfähigkeit des Nettoquerschnitts;	a	Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche;
$N_{c,Rd}$	Bemessungswert der Normalkrafttragfähigkeit bei Druck;	α	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen;
$M_{c,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Berücksichtigung von Löchern;	β	Parameter für den Querschnittsnachweis bei Biegung um beide Hauptachsen;
W_{pl}	plastisches Widerstandsmoment;	$e_{N,y}$	Verschiebung der Hauptachse y - y des wirksamen Querschnitts mit der Fläche A_{eff} bezogen auf die Hauptachse des Bruttoquerschnitts mit der Fläche A ;
$W_{el,min}$	kleinstes elastisches Widerstandsmoment;	$e_{N,z}$	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;	$W_{eff,min}$	kleinstes wirksames elastisches Widerstandsmoment;
A_f	Fläche des zugbeanspruchten Flansches;	$N_{b,Rd}$	Bemessungswert der Biegeknicktragfähigkeit von Bauteilen unter planmäßig zentrischem Druck;
$A_{f,net}$	Nettofläche des zugbeanspruchten Flansches;	χ	Abminderungsbeiwert entsprechend der maßgebenden Knickkurve;
V_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft;	Φ	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ ;
$V_{c,Rd}$	Bemessungswert der Querkrafttragfähigkeit;	a_0, a, b, c, d	Klassenbezeichnungen der Knicklinien;
$V_{pl,Rd}$	Bemessungswert der plastischen Querkrafttragfähigkeit;	N_{cr}	ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall bezogen auf den Bruttoquerschnitt;
A_v	wirksame Schubfläche;	i	Trägheitsradius für die maßgebende Knickebene bezogen auf den Bruttoquerschnitt;
η	Beiwert für die wirksame Schubfläche;		
S	Statisches Flächenmoment;		
I	Flächenträgheitsmoment des Gesamtquerschnitts;		

λ_1	Schlankheit zur Bestimmung des Schlankheitsgrads;	χ_{op}	Abminderungsbeiwert in Abhängigkeit von $\bar{\lambda}_{op}$;
$\bar{\lambda}_T$	Schlankheitsgrad für Drillknicken oder Biegedrillknicken;	$\alpha_{ult,k}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um den charakteristischen Wert der Tragfähigkeit bei Unterdrückung von Verformungen aus der Ebene zu erreichen;
$N_{cr,TF}$	ideale Verzweigungslast für Biegedrillknicken;	$\alpha_{cr,op}$	Vergrößerungsbeiwert für die Einwirkungen, um die Verzweigungslast bei Ausweichen aus der Ebene (siehe $\alpha_{ult,k}$) zu erreichen;
$N_{cr,T}$	ideale Verzweigungslast für Drillknicken;	N_{Rk}	charakteristischer Wert der Normalkrafttragfähigkeit;
$M_{b,Rd}$	Bemessungswert der Momententragfähigkeit bei Biegedrillknicken;	$M_{y,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit (y-y-Achse);
χ_{LT}	Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken;	$M_{z,Rk}$	charakteristischer Wert der Momententragfähigkeit (z-z-Achse);
Φ_{LT}	Funktion zur Bestimmung des Abminderungsbeiwertes χ_{LT} ;	Q_m	lokale Ersatzkraft auf stabilisierende Bauteile im Bereich von Fließgelenken;
α_{LT}	Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Biegedrillknicklinie;	I_{stable}	Mindestabstand von Abstützmaßnahmen;
$\bar{\lambda}_{LT}$	Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken;	L_{ch}	Knicklänge eines Gurtstabs;
M_{cr}	ideales Verzweigungsmoment bei Biegedrillknicken;	h_0	Abstand zwischen den Schwerachsen der Gurtstäbe;
$\bar{\lambda}_{LT,0}$	Plateaulänge der Biegedrillknicklinie für gewalzte und geschweißte Querschnitte;	a	Bindeblechabstand;
β	Korrekturfaktor der Biegedrillknicklinie für gewalzte und geschweißte Querschnitte;	α	Winkel zwischen den Schwerachsen von Gitterstäben und Gurtstäben;
$\chi_{LT,mod}$	modifizierter Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken;	i_{min}	kleinster Trägheitsradius von Einzelwinkeln;
f	Modifikationsfaktor für χ_{LT} ;	A_{ch}	Querschnittsfläche eines Gurtstabes;
k_c	Korrekturbeiwert zur Berücksichtigung der Momentenverteilung;	$N_{ch,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft im Gurtstab eines mehrteiligen Bauteils;
Ψ	Momentenverhältnis in einem Bauteilabschnitt;	M_{Ed}^I	Bemessungswert des maximal einwirkenden Moments für ein mehrteiliges Bauteils;
L_c	Abstand zwischen seitlichen Stützpunkten;	I_{eff}	effektives Flächenträgheitsmoment eines mehrteiligen Bauteils;
$\bar{\lambda}_f$	Schlankheitsgrad des druckbeanspruchten Flansches;	S_v	Schubsteifigkeit infolge der Verformungen der Gitterstäbe und Bindebleche;
$i_{f,z}$	Trägheitsradius des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;	n	Anzahl der Ebenen der Gitterstäbe oder Bindebleche;
$I_{eff,f}$	wirksames Flächenträgheitsmoment des druckbeanspruchten Flansches um die schwache Querschnittsachse;	A_d	Querschnittsfläche eines Gitterstabes einer Gitterstütze;
$A_{eff,f}$	wirksame Fläche des druckbeanspruchten Flansches;	d	Länge eines Gitterstabes einer Gitterstütze;
$A_{eff,w,c}$	wirksame Fläche des druckbeanspruchten Teils des Stegblechs;	A_v	Querschnittsfläche eines Bindeblechs (oder horizontalen Bauteils) einer Gitterstütze;
$\bar{\lambda}_{c0}$	Grenzschlankheitsgrad;	I_{ch}	Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene;
$k_{\ell\ell}$	Anpassungsfaktor;	I_b	Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene;
$\Delta M_{y,Ed}$	Momente infolge Verschiebung e_{Ny} der Querschnittsachsen;	μ	Wirkungsgrad;
$\Delta M_{z,Ed}$	Momente infolge Verschiebung e_{Nz} der Querschnittsachsen;	i_y	Trägheitsradius (y-y-Achse).
χ_y	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken (y-y-Achse);	Anhang A	
χ_z	Abminderungsbeiwert für Biegeknicken (z-z-Achse);	C_{my}	äquivalenter Momentenbeiwert;
k_{yy}	Interaktionsfaktor;	C_{mz}	äquivalenter Momentenbeiwert;
k_{yz}	Interaktionsfaktor;	C_{mLT}	äquivalenter Momentenbeiwert;
k_{zy}	Interaktionsfaktor;	μ_y	Beiwert;
k_{zz}	Interaktionsfaktor;	μ_z	Beiwert;
$\bar{\lambda}_{op}$	globaler Schlankheitsgrad eines Bauteils oder einer Bauteilkomponente zur Berücksichtigung von Stabilitätsverhalten aus der Ebene;	$N_{cr,y}$	ideale Verzweigungslast für Knicken um die y-y-Achse;
		$N_{cr,z}$	ideale Verzweigungslast für Knicken um die z-z-Achse;

C_{yy}	Beiwert;	K_{θ}	Faktor zur Berücksichtigung des
C_{yz}	Beiwert;		Momentenverlaufs und der Möglichkeit der
C_{zy}	Beiwert;		seitlichen Verschiebung des gegen Verdrehen
C_{zz}	Beiwert;		gestützten Trägers;
w_y	Beiwert;	$C_{\theta R,k}$	Rotationssteifigkeit des stabilisierenden
w_z	Beiwert;		Bauteils bei Annahme einer steifen
n_{pl}	Beiwert;		Verbindung mit dem Träger;
$\bar{\lambda}_{\max}$	maximaler Wert von $\bar{\lambda}_y$ und $\bar{\lambda}_z$;	$C_{\theta C,k}$	Rotationssteifigkeit der Verbindung
b_{LT}	Beiwert;		zwischen dem Träger und dem
c_{LT}	Beiwert;		stabilisierenden Bauteil;
d_{LT}	Beiwert;	$C_{\theta D,k}$	Rotationssteifigkeit infolge von
e_{LT}	Beiwert;		Querschnittsverformungen des Trägers;
ψ_y	Verhältnis der Endmomente (y - y -Achse);	L_m	Mindestabstand zwischen seitlichen
$C_{my,0}$	Beiwert;		Stützungen;
$C_{mz,0}$	Beiwert;	L_k	Mindestabstand zwischen Verdreh-
a_{LT}	Beiwert;		behinderungen;
I_T	St. Venant'sche Torsionssteifigkeit;	L_s	Mindestabstand zwischen einem plastischen
I_y	Flächenträgheitsmoment um die y - y -Achse;		Gelenk und einer benachbarten
Cl	Verhältnis von kritischem Biegemoment		Verdrehbehinderung;
	(größter Wert unter den Bauteilen) und dem	C_1	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung
	kritischen konstanten Biegemoment für ein		des Momentenverlaufs;
	Bauteil mit gelenkiger Lagerung.	C_m	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung
$M_{i,Ed}(x)$	Größtwert von $M_{y,Ed}$ und $M_{z,Ed}$;		eines linearen Momentenverlaufs;
$ \delta_x $	größte Verformung entlang des Bauteils.	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;
		n	ideales Verhältnis von N_{crE} zu N_{crT} ;
		i_s	auf die Schwerlinie des aussteifenden
			Bauteils bezogener Trägheitsradius;
		β_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.

Anhang B

a_s	Beiwert, s = Durchbiegung (en: sagging);
a_h	Beiwert, h = Aufbiegung (en: hogging);
C_m	äquivalenter Momentenbeiwert.

Anhang AB

γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige
	Einwirkungen;
G_k	charakteristischer Wert der ständigen
	Einwirkung G ;
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche
	Einwirkungen;
Q_k	charakteristischer Wert der veränderlichen
	Einwirkung Q .

Anhang BB

$\bar{\lambda}_{\text{eff},v}$	effektiver Schlankheitsgrad für Knicken um
	die v - v -Achse;
$\bar{\lambda}_{\text{eff},y}$	effektiver Schlankheitsgrad für Knicken um
	die y - y -Achse;
$\bar{\lambda}_{\text{eff},z}$	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	Wölflächenmoment des Trägers;
$C_{\theta k}$	Rotationssteifigkeit, die durch das
	stabilisierende Bauteil und die Verbindung
	mit dem Träger bewirkt wird;
K_v	Beiwert zur Berücksichtigung der Art der
	Berechnung;

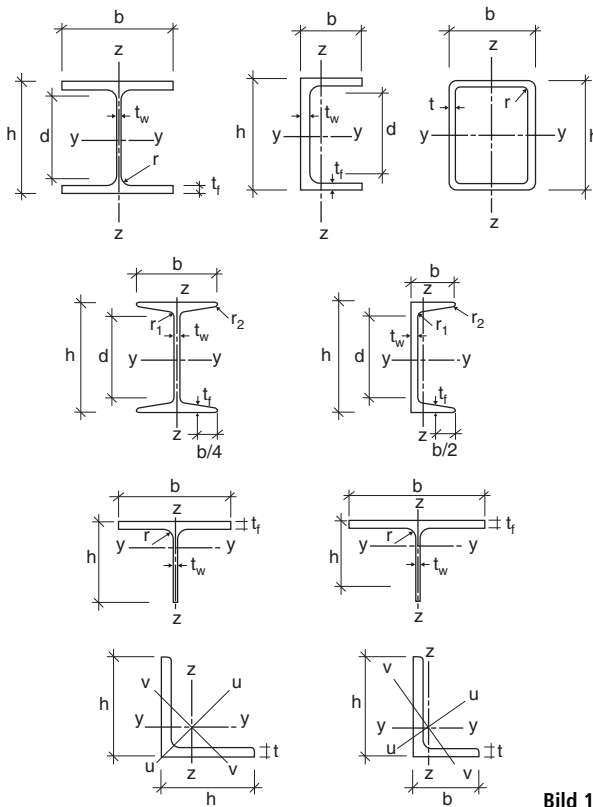


Bild 1.1. Abmessungen und Achsen von Profilquerschnitten

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.

tungen, 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.

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)P In Bezug auf die Anwendung von EN 1090-1 und EN 1090-2 sind die Ausführungsklassen nach Anhang C dieser Norm zu wählen.

(2) 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 1990:2010, Anhang B und Anhang C, sowie EN 1090 erreicht werden.

2.1.3 Nutzungsdauer, Dauerhaftigkeit und Robustheit

2.1.3.1 Allgemeines

(1)P 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)P,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)P,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)P,B Können Materialverschleiß, Korrosion oder Ermüdung maßgebend werden, müssen 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, nach Abschnitt 3.3 der EN 1990, sind 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.

Zu 2.1.2(1)P

Gemäß Änderung EN 1993-1-1/A1:2014-07 wird der bisherige Unterabschnitt 2.1.2 durch eine Bezugnahme auf die Anwendung von EN 1090 ergänzt. Seit Juli 2014 ersetzt ein neuer Anhang C zu EN 1993-1-1 den nur informativen Anhang B von EN 1090-2, der bisher die Zuordnung der Ausführungsklassen EXC1 bis EXC4 zu Schadensfolgeklassen (CC) gemäß DIN EN 1990, Tabelle B.1 enthielt.

Zu 2.1.2(2)

Das semi-probabilistische Sicherheitskonzept von EN 1990 verfolgt nach [K39] den Ansatz, mit der Definition eines für Deutschland einheitlichen Zielwertes für den Zuverlässigkeitsindex, im Bauwesen ein bauart- und nutzungsunabhängiges Zuverlässigkeitsniveau zu erreichen. Die Bemessung nach EN 1990 mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Anhang A bzw. nach EN 1991 bis EN 1999 führt nach [K39] in der Regel zu einem Tragwerk mit einer Mindestzuverlässigkeit von $\beta \geq 3,8$ für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren. Abweichungen davon, wie sie hier mit dem Verweis auf EN 1990, Anhang C angesprochen werden, sind Ausnahmen und erfordern eine Absprache mit der zuständigen Baurechtsbehörde. Die Anhänge B und C von EN 1990, die allgemeine Regeln zur Zuverlässigkeitsanalyse und zur Grundlage der Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten behandeln, sind bauaufsichtlich nicht eingeführt.

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 2.3.1(1) Anmerkung 1

Es werden keine zusätzlichen Festlegungen getroffen.

Anmerkung 2B: Zur proportionalen Erhöhung von Lasten bei inkrementellen Berechnungen, siehe Anhang AB.1.1.

Anmerkung 3B: Zu vereinfachter Anordnung der Belastung, siehe Anhang AB.1.2.

(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) P Für die Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten sind 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):

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

Dabei ist

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

γ_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.

Zu 2.3.1(4)

Die Behandlung von vorgespannten Systemen, wie durch Seile oder Zugstangen unter- bzw. überspannte Träger, unterscheidet sich grundsätzlich im reinen Stahlbau und im Verbundbau bzw. im Massivbau. Im Stahlbau geht man davon aus, dass die Vorspannung kontrolliert unter Eigengewichtswirkung aufgebracht wird, so dass keine unabhängige Behandlung mit einem eigenen Teilsicherheitsbeiwert erforderlich ist, sondern Vorspannung und Eigengewicht quasi als eine ständige Last zusammengefasst werden können. Im Verbundbau zum Beispiel wird die Vorspannung gemäß EN 1994-1-1, 2.4.1.1. mit einem eigenen Teilsicherheitsbeiwert versehen.

2.4.4 Nachweis der Lagesicherheit (EQU)

(1) Das Nachweisformat beim Nachweis der Lagesicherheit (EQU) nach EN 1990, Anhang 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 γ_{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;
 γ_{Mi} die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte.

Anmerkung 1: Die empfohlenen Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{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 γ_{Mi} 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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.1(2) Anmerkung

Die Anwendung der DIN EN 1993-1-1 ist auf Stahlsorten und Stahlprodukte nach DIN EN 1993-1-1: 2010-12, Tabelle 3.1 beschränkt. Die Anwendung weiterer Stahlsorten ist in DIN EN 1993-1-12 geregelt. Andere als die oben genannten Stahlsorten dürfen nur verwendet werden, wenn

Zu 2.5

Für die Anwendung von Festigkeitswerten aus Versuchen bedarf es in Deutschland, auch wenn das an dieser Stelle nicht explizit ausgeschlossen ist, im Allgemeinen eines bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweises (Europäische technische Zulassung, allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Zustimmung im Einzelfall oder allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis).

Zu NDP zu 3.1(2) Anmerkung

Während DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1 Stahlsorten bis S 460 enthält, wird nach DIN EN 1993-1-12 die Anwendung auf höherfeste Stahlsorten bis S 700 erweitert. Die „Öffnungsklausel“ für andere als die genannten Stahlsorten entspricht der bisherigen Vorgehensweise in DIN 18800-1, Element (402) [K1].

Für Produkte, an denen geschweißt wird und bei denen die Schweißnähte in auf Zug oder Biegezug beanspruchten Bereichen liegen, gab es in DIN 18800-7 [K3] eine Regelung, die nicht in EN 1090 vorhanden ist, und deshalb hier durch den Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2018-12 ergänzt wird. In DIN 18800-7 wurde für Blechdicken > 30 mm der Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 gefordert bzw. in der Ausgabe DIN 18800-7:2008 die Einhaltung des Äquivalenzkriteriums für den Aufschweißbiegeversuch nach Tabelle 100, DIN 18800-7:2008, vgl. Tabelle NA.1. Dieses Äquivalenzkriterium hat bisher keinen Eingang in die europäische Normung (mit Ausnahme von EN 1993-2 für Stahlbrücken) gefunden. Gemäß [K40] und [K41] wird durch den Nachweis nach EN 1993-1-10:2010 der Nachweis im Temperatur-Übergangsbereich des Temperatur-Zähigkeits-Diagramms geführt, während das Äquivalenzkriterium bzw. der Aufschweißbiegeversuch einen Nachweis im sogenannten Hochlagenbereich darstellt, also durchaus eine notwendige zusätzliche Qualitätsanforderung ist. Diese Anforderung wird im Moment durch den Nationalen Anhang zu EN 1993-1-1 analog zur alten Regelung aus DIN 18800-7 als vorläufige Regel ergänzt, bis genauere Nachweise zur Verfügung stehen.

In der Anmerkung zu diesem Absatz ist die Prüfung nach SEP 1390 nur für Flächenerzeugnisse und Formstahl eingeschränkt. Die Anmerkung soll die Randbedingungen einer Aufschweißbiegeprüfung präzisieren. Es sollen Stahlerzeugnisse, bei denen sich Proben nach SEP 1390 nicht entnehmen lassen, ausgeschlossen werden. Dazu gehören z. B. Rundstäbe und Hohlprofile mit kreisförmigem Querschnitt. Die Proben müssen im bemessungsrelevanten Bereich entnommen werden. Somit sind eigentlich auch kaltgefertigte Hohlprofile mit rechteckigem Querschnitt ausgeschlossen.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.1(2) Anmerkung (Fortsetzung)

- die chemische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Schweißbeignung in den Lieferbedingungen des Stahlherstellers festgelegt sind und diese Eigenschaften einer der oben genannten Stahlsorten zugeordnet werden können, oder
- sie in Fachnormen vollständig beschrieben und hinsichtlich ihrer Verwendung geregelt sind, oder
- ihre Verwendbarkeit durch einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall) nachgewiesen worden ist.

Zusätzlich sind für die Produkte mit Streckgrenzen bis zu 355 N/mm², an denen geschweißt wird und bei denen die Schweißnähte in auf Zug oder Biegezug beanspruchten Bereichen liegen, die Bedingungen nach Tabelle NA.1 einzuhalten. Alternativ hierzu darf die Eignung der Stähle durch einen Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 nachgewiesen werden. Für Bauteile aus Stahlsorten nach DIN EN 10025-5 mit Dicken > 30 mm muss die Eignung durch den Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 nachgewiesen werden.

Anmerkung: Die Anforderung für die Prüfung nach SEP 1390 gilt nur für Flacherzeugnisse und Formstahl. Somit sind Rundmaterialien als Vollquerschnittmaterial und Hohlprofile (quadratisch und kreisförmig) ausgeschlossen.

Tabelle NA.1. Äquivalenzkriterium

Stahl-sorte	Dicke t		
	$t \leq 30$ mm	$t > 30$ mm bis ≤ 80 mm	$t > 80$ mm
S 355	keine besonderen Anforderungen	Feinkornbaustahl Güte N bzw. M nach DIN EN 10025-3 bzw. DIN EN 10025-4, DIN EN 10210-1 und DIN EN 10219-1	Feinkornbaustahl Güte NL bzw. ML nach DIN EN 10025-3 bzw. DIN EN 10025-4, DIN EN 10210-1 und DIN EN 10219-1
S 275	keine besonderen Anforderungen	Feinkornbaustahl Güte N bzw. M nach DIN EN 10025-3 bzw. DIN EN 10025-4, DIN EN 10210-1 und DIN EN 10219-1	Feinkornbaustahl Güte NL bzw. ML nach DIN EN 10025-3 bzw. DIN EN 10025-4, DIN EN 10210-1 und DIN EN 10219-1
S 235	keine besonderen Anforderungen	Güte +N oder +M nach DIN EN 10025-2	

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:

- entweder direkt als Werte $f_y = R_{eH}$ und $f_u = R_m$ aus der Produktnorm, oder
- vereinfacht der Tabelle 3.1 zu entnehmen.

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

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.2.1(1) Anmerkung

Die Werte für f_y und f_u dürfen sowohl den entsprechenden Produktnormen (DIN EN 10025-2 bis DIN EN 10025-6, DIN EN 10210-1 und DIN EN 10219-1) als auch DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 3.1 entnommen werden.

Zu NDP zu 3.2.1(1) Anmerkung

Die Zahlenwerte in Tabelle 3.1 entsprechen den international vereinbarten Werten, sie unterscheiden sich in der Regel von den Werten der deutschen Norm DIN 18800-1. So gilt für S 235 bei Blechdicken ≤ 40 mm ein Wert $f_{y,k} = 235$ N/mm² statt 240 N/mm². In Deutschland wurde seinerzeit im Unterschied zum Eurocode bei der Umstellung auf das SI-System vor mehr als zwanzig Jahren entschieden, die Umstellung bei der Streckgrenze vereinfachend nicht mit dem korrekten Wert 9,81, sondern mit dem Faktor 10 vorzunehmen, da auch die Lasten (Einwirkungen) mit dem Faktor 10 umgerechnet wurden, vgl. [K6]. Dieser Unterschied ergab sich bei der Umstellung auf das SI-System durch die Umrechnung mit $g = 9,81$ m/s² statt 10 m/s². Bei den Lasten hat man aus Vereinfachungsgründen diese Anpassung mit $g = 10$ m/s² statt 9,81 m/s² vorgenommen, [K6].

Bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit werden in der Regel die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u anstelle der charakteristischen Werte verwendet. Die Nennwerte entsprechend DIN EN 1993-1-1, Tabelle 3.1 stellen hierbei eine Vereinfachung gegenüber den Werten der Produktnormen dar. Sie gestatten aufgrund der im Vergleich zu den Produktnormen größeren Abstufung in Abhängigkeit der Blechdicke teilweise sogar höhere Festigkeitsansätze.

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 ²	f_u N/mm ²	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	490	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN 10210-1				
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
EN 10219-1				
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		

3.2.2 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 ϵ_u , wobei ϵ_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 ϵ_u festlegen. Folgende Werte werden empfohlen:

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

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.2.2(1) Anmerkung

Es gelten die Empfehlungen.

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

3.2.3 Bruchzähigkeit

(1) P 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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.2.3(1) P Anmerkung

Die für die Bemessung anzunehmenden niedrigsten Betriebstemperaturen sind in DIN EN 1993-1-10/NA: 2010-12, Anhang A angegeben.

(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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.2.3(3) B Anmerkung B

Es gilt die Empfehlung.

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

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 3.2.4(1) Anmerkung 3B

Es gilt die Empfehlung.

Zu 3.2.2

Es darf davon ausgegangen werden, dass die Stahlsorten nach Tabelle 3.1 die Duktilitätskriterien nach EN 1993-1-1, Abschnitt 3.2.2 erfüllen, obwohl die in der Tabelle 3.1 aufgeführten rechnerischen Nennwerte von Streckgrenze und Zugfestigkeit die Kriterien zum Teil nominell nicht erfüllen. Nur für nicht in Tabelle 3.1 geregelte Baustähle sind die Duktilitätskriterien wie z. B. das Verhältnis $f_u/f_y > 1,10$ gesondert nachzuweisen. Dies ist insofern von Bedeutung, da die Duktilitätskriterien z. B. auf die Gleichmaßdehnung ϵ_u abgestellt sind, die nicht wie die Bruchdehnung eine nachzuweisende mechanische Eigenschaft nach den Produktnormen ist. Im neuesten Entwurf zu EN 1993-1-1 [K55] wurde nach Bestätigung in jüngeren Forschungen auf die 3. Bedingung zur Gleichmaßdehnung verzichtet.

Zu 3.2.3 und 3.2.4

Hinsichtlich der Stahlsortenwahl mit Blick auf Sprödbuchssicherheit und die Eigenschaft in Blechdickenrichtung (Gefahr des Terrassenbruchs) wird auf EN 1993-1-10 verwiesen, deren Regelungen mit DAST-Richtlinie 009 [K4] vergleichbar sind.

Zu 3.2.3(4)

Ausgelöst durch Schadensfälle und die daran sich anschließenden Untersuchungen wurde inzwischen DAST-Richtlinie 022:2016 „Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen“ [K42] entwickelt, die seit Dezember 2009 mit ihrer Aufnahme in die Bauregelliste A zusätzlich gilt. Erläuterungen hierzu sind in [K43] zu finden.

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

Anmerkung: Für die Berechnung von Zwängungen infolge ungleicher Temperatureinwirkung in Beton- und Stahlteilen von Stahlverbundbauwerken nach EN 1994 kann der Wärmeausdehnungskoeffizient α 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)P 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:

Zu 3.2.6

Die Bemessungswerte für die Materialkennwerte E -Modul, Schubmodul, Querdehnzahl und Wärmeausdehnungskoeffizient für Stahl werden als konstante Werte festgelegt und müssen nicht durch einen Teilsicherheitsbeiwert abgemindert werden. Der Ansatz von Mittelwerten für die Steifigkeiten entspricht der Empfehlung in EN 1990, Abs. 4.2 (8). Bei den wenig streuenden Werten des Elastizitätsmoduls etc. würde eine solche Abminderung vor allem den variablen geometrischen Abmessungen und Steifigkeiten Rechnung tragen, die gemäß Abs. 3.2.5 auch nur mit Nennwerten anzusetzen sind, bei denen aber sehr konkrete Streuungen auftreten. Hier ist im Einzelfall der Tragwerksplaner gefragt, in den wenigen dafür empfindlichen Fällen (zum Beispiel bei einem unterspannten Rahmentragwerk) für die Schnittgrößenmittlung ggf. auch eine Berechnung mit oberen und unteren Grenzwerten durchzuführen.

Zu 4(4)B

Während hier der Ermüdungsnachweis explizit für Kranbahnen und ähnliche Tragwerke des Hochbaus gefordert wird, kennt DIN 18800-1 Element (741) [K1] mit Gleichung (25) und (26) konkrete Abgrenzungskriterien, wann auf einen Ermüdungsnachweis verzichtet werden kann. Dabei wird zum einen $\Delta\sigma = \max\sigma - \min\sigma$ die Spannungsschwingbreite in N/mm^2 unter den Bemessungswerten der veränderlichen Einwirkungen für den Tragsicherheitsnachweis auf weniger als 26 N/mm^2 begrenzt. Während alternativ auch die Anzahl der Spannungsspiele n weniger als $5 \cdot 10^5 \cdot (26/\Delta\sigma)^3$ sein sollte.

Diese Bedingungen orientieren sich am Ermüdungsnachweis für den ungünstigsten vorgesehenen Kerbfall und volles Einstufenkollektiv. Sie erfassen den ungünstigen Fall, in dem das für den Kerbfall maßgebende Bauteil für Überwachung und Instandhaltung schlecht zugänglich ist und sein Ermüdungsversagen den katastrophalen Zusammenbruch des Tragsystems zur Folge haben kann. Da in den Bedingungen – abweichend von den Regelungen für Ermüdungsnachweise – die Spannungen σ des Tragsicherheitsnachweises verwendet werden, liegen sie auf der sicheren Seite und können auch im Zusammenhang mit EN 1993 als Kriterium genutzt werden.

- a) Hebevorrichtungen oder rollenden Lasten;
 - b) wiederholten Spannungswechseln durch Maschinenschwingungen;
 - c) windinduzierten Schwingungen;
 - d) Schwingungen aus rhythmischer Bewegung von Personengruppen.
- (5)P 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 Luftfeuchtigkeit 80 % nicht überschreitet.

5 Tragwerksberechnung

5.1 Statische Systeme

5.1.1 Grundlegende Annahmen

- (1)P 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)P Das Berechnungsverfahren muss den Bemessungsannahmen entsprechen.
- (4)B Zu Berechnungsverfahren und grundlegenden Annahmen für Bauteile von Hochbauten siehe auch EN 1993-1-5 und EN 1993-1-11.

NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.1 Statische Systeme

Auflagerkräfte von Durchlaufträgern

Unter der Voraussetzung einer gleichmäßig verteilten Last dürfen die Auflagerkräfte für die Stützweitenverhältnisse $\min l \geq 0,8 \max l$ – mit Ausnahme des Zweifeldträgers – wie für Träger auf zwei Stützen berechnet werden.

zu 5.1.1 Grundlegende Annahmen

Wenn für einen Nachweis eine Erhöhung der Streckgrenze zu einer Erhöhung der Beanspruchung führt, die nicht gleichzeitig zu einer proportionalen Erhöhung der zugeordneten Beanspruchbarkeit führt, ist für die Streckgrenze auch ein oberer Grenzwert

$$f_y^{\text{oben}} = 1,3 f_y \quad (\text{NA.1})$$

anzunehmen.

Bei durch- oder gegengeschweißten Nähten kann die Erhöhung der Beanspruchbarkeit unterstellt werden. Bei üblichen Tragwerken darf die Erhöhung von Auflagerkräften infolge der Annahme des oberen Grenzwertes der Streckgrenze unberücksichtigt bleiben.

Zu 5.1.1

Die Berechnung der Stabkräfte von Fachwerkträgern darf nach DIN 18801 [K12] im Abschnitt 6.1.3 unter der Annahme reibungs-freier Gelenke in den Knotenpunkten stattfinden. Dabei sind Biegespannungen aus Lasten, die zwischen den Fachwerkknoten angreifen, zu erfassen. Biegespannungen aus Wind auf den Stabflächen und das Eigengewicht bei Zugstäben brauchen im Allgemeinen für den Einzelstab nicht berücksichtigt zu werden. Diese vereinfachenden Regelungen können auch für eine Tragwerksberechnung nach DIN EN 1993-1-1 als selbstverständliche Übereinkunft verwendet werden.

Zu 5.1.1(4)B

Zur unmittelbaren Lagerung von auf Biegung beanspruchten vollwandigen Tragwerksteilen auf Mauerwerk oder Beton regelt DIN 18801 [K12] im Abschnitt 6.1.2.1, dass als Stützweite die um 1/20, mindestens aber um die Auflagertiefe von 12 cm vergrößerte lichte Weite angenommen werden darf. Diese Regelung kann sicher auch als Anwendungsregel für den Hochbau für eine Tragwerksberechnung nach DIN EN 1993-1-1 als gültig angenommen werden.

Zu NCI zu 5.1

Diese Regelung entspricht DIN 18801, 6.1.2.2 [K12] und ist nach jüngster Beratung im Ausschuss auf der Grundlage des Dokuments [K56] auch auf heutige Tragwerke übertragbar, denn die Anwendung der Bemessungsregel beschränkte sich von Anfang an nicht nur auf Durchlaufträger mit plastischem Verformungsvermögen, sondern war allgemeiner gefasst. Das Schutzziel der Regel ist nicht der lastbringende Durchlaufträger. Die Begrenzung auf Durchlaufträger mit drei und mehr Feldern dient ausschließlich dem Schutz der unterstützenden Bauteile, die durch die Auflagerkräfte des Durchlaufträgers belastet werden. Die Bemessungsregel hat nicht den Versagenszeitpunkt des Durchlaufträgers (ggf. plastischen Zustand) als kritischen Zustand im Fokus. Die Bemessungsregel versucht vielmehr Beanspruchungszustände abzudecken, zu denen sich der lastbringende Durchlaufträger noch elastisch verhält. Aus diesem Grund ist es für die Bemessungsregel nicht erforderlich, dass der Durchlaufträger ausreichendes plastisches Verformungsvermögen besitzt. Tatsächlich stellt die Vernachlässigung der Durchlaufwirkung formal eine Unterschätzung der Beanspruchung dar. Im Lichte der sonstigen konservativen Rechenannahmen kann jedoch dieser „Fehler“ als tolerierbar angesehen werden. Zu diesen konservativen Rechenannahmen zählt z. B. die Annahme von starren Vertikalauflagern bei der Tragwerksberechnung von statisch unbestimmten Durchlaufträgern. Der Einfluss der Verformung des unterstützenden Bauteils auf die Verteilung der Auflagerkräfte von Durchlaufträgern wird in der Regel auf der sicheren Seite liegend vernachlässigt.

Zu NCI zu 5.1.1

Überfestigkeiten des Stahls sind planmäßig nur zu berücksichtigen, wenn es hierdurch zum Beispiel in Anschlüssen zu Überbeanspruchungen kommen kann. Weiterhin könnten Überbeanspruchungen in nachgelagerten Bauteilen aus Holz oder ähnlichen Materialien, die nicht über ein ausreichendes Plastizierungsvermögen verfügen, auftreten.

(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:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \quad \text{für die elastische Berechnung} \quad (5.1)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \quad \text{für die plastische Berechnung}$$

Dabei ist

α_{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 α_{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 α_{cr} bei bestimmten Rahmentragwerken festgelegt werden, wenn diese durch genauere Ansätze begründet sind.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.2.1(3) Anmerkung

Bei Anwendung der plastischen Berechnung ist für die Abfrage von Gleichung (5.1) das statische System unmittelbar vor Ausbildung des letzten Fließgelenks zugrunde zu legen oder es ist jedes einzelne Teilsystem der Fließgelenkkette zu untersuchen. Der Grenzwert ist dann mit 10 statt mit 15 anzunehmen.

(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 sollte α_{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} Bemessungswert der gesamten horizontalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub), siehe 5.3.2(7);

V_{Ed} Bemessungswert der gesamten vertikalen Last, einschließlich der vom Stockwerk übertragenen äquivalenten Kräfte (Stockwerksschub);
 $\delta_{H,Ed}$ die Horizontalverschiebung der oberen Stockwerksknoten gegenüber den unteren Stockwerksknoten infolge horizontaler Lasten (z. B. Wind) und horizontalen Ersatzlasten, die am Gesamttragwerk angreifen;
 h die Stockwerkshöhe.

Zu 5.2.1(3)

Der Grenzwert für die elastische Tragwerksberechnung nach Gleichung (5.1) entspricht der alten 10%-Regel nach DIN 18800 Teil 1 [K1], Element (739), Bedingung (a). Entsprechend sind auch die alternativen gleichwertigen Regeln (b) und (c) anwendbar: Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung ist danach nicht erforderlich, wenn die bezogenen Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_K$ nicht größer als

$$0,3 \sqrt{\frac{f_{yd}}{\sigma_N}} \quad \text{sind}$$

$$\text{mit } \sigma_N = \frac{N}{A}, \quad \bar{\lambda}_K = \frac{\lambda_K}{\lambda_a}, \quad \lambda_K = \frac{s_K}{i}, \quad \lambda_a = \pi \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$$

(dies entspricht Gleichung (5.3) in EN 1993-1-1) oder die mit dem Knicklängenbeiwert $\beta = s_K/i$ multiplizierten Stabkennzahlen

$$\varepsilon = \ell \sqrt{\frac{N}{(E \cdot I)_d}} \quad \text{aller Stäbe nicht größer als 1,0 sind.}$$

Bei veränderlichen Querschnitten oder Normalkräften sind $(E \cdot I)_d$, N_{K1} und s_K für die Stelle zu ermitteln, für die der Tragsicherheitsnachweis geführt wird. Im Zweifelsfall sind mehrere Stellen zu untersuchen. In den Bedingungen ist die Normalkraft N als Druckkraft positiv anzusetzen.

Zu 5.2.1(3) Anmerkung und NDP zu 5.2.1(3) Anmerkung

Die bisherige liberale Regel, für α_{cr} den Wert 15 anstelle von 10 bei plastischer Tragwerksberechnung zuzulassen, kann zu gravierenden Fehleinschätzungen führen. Die Anfangssteifigkeit ist kein hinreichendes Kriterium für die Unempfindlichkeit der gesamten Fließgelenkkette für Effekte Theorie II. Ordnung. Unter Umständen kann sich wegen Stabilitätsversagen in einem Teilsystem die endgültige Kette auch gar nicht ausbilden. Für weitere Erläuterungen wird auf [K44] verwiesen.

Zu 5.2.1(4)B

Für verschiebbliche Rahmensysteme des Hochbaus, d. h. für Hallenrahmen mit geringer Dachneigung ($< 26^\circ$) und Rahmentragwerke des Geschossbaus, gestattet EN 1993-1-1 eine vereinfachte Ermittlung von α_{cr} nach Gl. (5.2) und Bild 5.1. Gl. (5.2) geht dabei auf das sog. P-Δ-Verfahren zurück, das $\alpha_{cr} = F_{cr}/F_{Ed}$ über das Verhältnis von Verformungsmoment $\Delta M = V_{Ed} \cdot \delta_{H,Ed}$ zum Lastmoment $M_{Ed} = H_{Ed} \cdot h$ nach Theorie I. Ordnung annähert. Mit Gleichung (5.3) in Anmerkung 2B wird überprüft, ob die Normalkraft bzw. Druckkraft im Riegel eine Rolle spielt. Diese Gleichung entspricht genau der Bedingung b) nach DIN 18800-1, Element (739), bzw. Gleichung (5.1), nur mit umgekehrtem Ungleichheitszeichen. Die Riegedruckkraft muss also berücksichtigt werden, wenn Gleichung (5.3) erfüllt ist, und sie darf vernachlässigt werden, wenn Gleichung (5.1) zutrifft.

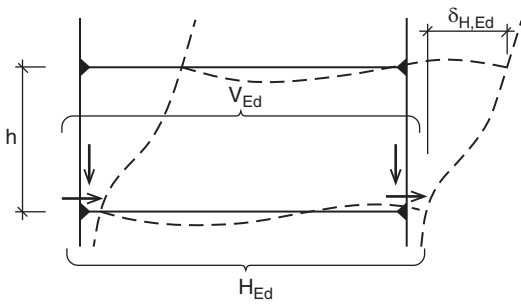


Bild 5.1. Bezeichnungen zu 5.2.1(4)

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

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

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 Einflüsse 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:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad (5.4)$$

beträgt, vorausgesetzt, dass gilt: $\alpha_{cr} \geq 3,0$.

Hierbei darf

α_{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.

Zu 5.2.1(5)

Die effektiven Querschnittswerte sind nach EN 1993-1-5 zu bestimmen, EN 1993-1-5, 2.2 nennt Randbedingungen für die Berücksichtigung dieser gegenüber den Brutto-Querschnittswerten reduzierten Steifigkeitswerte bei der Tragwerksberechnung. Dabei bezeichnet „mittragende Breite“ die Wirkung der ungleichförmigen Spannungsverteilung aus Schubverzerrung und „wirksame Breite“ die Wirkung von örtlichem Plattenbeulen.

Zu 5.2.2(3)

Je nach Umfang der Berücksichtigung von Vorverformungen (Imperfektionen) und Tragwerksverformungen unter Belastung (Theorie II. Ordnung) werden drei Methoden a), b), und c) unterschieden, die wahlweise eingesetzt werden können. Für Methode a) und b) vgl. 5.2.2(7), für das Ersatzstabverfahren nach Methode c) vgl. 5.2.2(8) und NDP zu 5.2.2(8). Siehe auch Erläuterungen in [K5] und [K11] und [K44].

(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 Bauteilimperfectionen, 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 Bauteilimperfectionen (z. B. Bauteilimperfectionen 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 Imperfectionen, 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 Gesamttragwerkes 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 Imperfectionen ermittelt werden.

Anmerkung: Der Nationale Anhang darf den Anwendungsbereich festlegen.

Zu 5.2.2(7)

Methode a) sieht eine ggf. räumliche Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung mit räumlichem Ansatz von globalen und lokalen Imperfectionen vor. In diesem Fall sind nur Querschnittsnachweise erforderlich, da durch die nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung aller globalen und lokalen Imperfectionen ermittelten Schnittgrößen alle Stabilitätseffekte erfasst sind. Um das Biegedrillknicken in der räumlichen Tragwerksberechnung mit abzubilden, bedarf es ggf. einer Schnittgrößenermittlung nach geometrisch nichtlinearer Biegetorsionstheorie unter Berücksichtigung der Wölbkrafttorsion. Die Methode b) kann auf zwei Arten angewendet werden, vgl. [K5] und [K11], bzw. [K44]. Beschränkt man den Ansatz der globalen und lokalen Imperfectionen auf die Tragwerkebene (Methode b1)), so ist das Biegeknicken in der Tragwerkebene durch die Querschnittsnachweise mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung abgedeckt. Lediglich für das Biegeknicken aus der Tragwerkebene und das Biegedrillknicken bedarf es dann eines Bauteilnachweises nach Abschnitt 6.3 mit Stabendschnittgrößen aus der Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung. Dieses Vorgehen ist zu empfehlen, wenn sich die Lagerungsbedingungen für Ausweichen in und aus der Tragwerkebene unterscheiden, also unterschiedliche statische Systeme für beide Richtungen vorliegen. Bei Methode b2) wird i. Allg. nur die globale Imperfektion, z. B. die Schiefstellung eines Rahmens, angesetzt und die Schnittgrößen werden nach Theorie II. Ordnung berechnet. Die Nachweise für die Stabilität am Einzelstab erfolgen sowohl in als auch aus der Tragwerkebene als Bauteilnachweise nach Abschnitt 6.3. Der Verzicht auf den Ansatz der lokalen Imperfectionen bei der Schnittgrößenermittlung nach Methode b2) ist zulässig, da diese vom Bauteilnachweis nach Abschnitt 6.3 berücksichtigt werden. In diesen Fällen sollte aber auf eine Berücksichtigung einer Knicklänge in der Ebene kleiner als die Systemhöhe verzichtet werden,

da schon die Ermittlung der globalen Schnittgrößen am Tragwerk in der Ebene gewisse Einspanneffekte berücksichtigt. Das Modalverb „darf“ ist hier missverständlich. Auch kann gemäß 5.3.2(6) in Einzelfällen der Ansatz lokaler Imperfectionen (Stabvorkrümmungen) in der Berechnung des Gesamttragwerkes erforderlich sein, wenn die Größe der Schnittgrößen am Stabende durch den Ansatz einer zusätzlichen Vorkrümmung im Gesamtsystem signifikant verändert wird. Das tritt ein, wenn Gl. (5.8) erfüllt ist, die im Grunde der Abfrage gemäß DIN 18800-2, Element (207) nach einer Stabkennzahl $\varepsilon > 1,6$ entspricht.

Zu 5.2.2(8) mit NDP dazu

Die Methode (c) entspricht dem klassischen Ersatzstabnachweis, bei dem die Knicklängen des Einzelstabes in und aus der Ebene für die maßgebende Druckkraftverteilung aus den Knickfiguren des Gesamtsystems abgeleitet werden. Dabei kann der Nachweis gemäß dem Bauteilnachweis in Abschnitt 6.3 mit den Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung, die am idealen Tragwerk ohne Ansatz von Imperfectionen ermittelt wurden, geführt werden, da durch die Berücksichtigung der Systemknicklänge indirekt bereits der Momentenzuwachs nach Theorie II. Ordnung und infolge der Imperfectionen erfasst ist. Für den Nachweis aus der Bauteilebene sind allerdings auch bei dieser Methode die Stabendschnittgrößen nach Theorie II. Ordnung erforderlich, die ggf. abgeschätzt werden müssen. Diese Momente nach Theorie II. Ordnung können berechnet werden, indem die Momente nach Theorie I. Ordnung mit dem Vergrößerungsfaktor nach Gl. (5.4) vergrößert werden.

Auch für den Fall, wenn Biegedrillknicken ausgeschlossen ist, müssen hier beim Nachweis aus der Ebene Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung berechnet werden, um den P- Δ -Effekt eines verschieblichen Systems auf die Stabendschnittgrößen zu berücksichtigen.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.2.2(8) *Anmerkung*

Stabilitätsnachweise dürfen nach dem Ersatzstabverfahren nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, 6.3 geführt werden, wenn die Konsequenzen für die Anschlüsse und die angeschlossenen Bauteile berücksichtigt werden. Typische Konsequenzen sind:

- a) Bei der Bemessung von biegesteifen Verbindungen ist statt des vorhandenen Biegemomentes M_{Ed} das vollplastische Moment $M_{pl,Rd}$ zu berücksichtigen, sofern kein genauerer Nachweis geführt wird.
- b) Bei verschieblichen Systemen mit angeschlossenen Pendelstützen muss eine zusätzliche Ersatzbelastung V_0 entsprechend der nachfolgenden Gleichung zur Berücksichtigung der Vorverdrehungen der Pendelstützen bei der Ermittlung der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung angesetzt werden:

$$V_0 = \sum (P_i \phi) \quad (\text{NA.2})$$

mit

P_i Normalkraft der Pendelstütze i

ϕ nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, 5.3.2(3) a)

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 sowie Exzentrizitäten, die größer als die grundlegenden Toleranzen nach EN 1090-2 sind, die in den Verbindungen des unbelasteten Tragwerks auftreten.

(2) In den Berechnungen sollten äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen, 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 antisymmetrischen 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:

Zu 5.3.1(1)

Die in den Imperfektionsannahmen berücksichtigten geometrischen Abweichungen sollten die zulässigen Toleranzen nach EN 1090-2 abdecken, insbesondere die als wesentliche oder auch als grundlegende Toleranzen bezeichneten Grenzwerte (unverzichtbar für die Standsicherheit), so dass nur, wenn es in der Praxis Abweichungen davon gibt, ggf. Zusatznachweise erforderlich werden, vgl. EN 1090-2, Abschnitt 11.2.1.

Zu 5.3.1(2)

Vergleichbar mit der Vorgehensweise in DIN 18800 sind bei der Tragwerksberechnung sowohl strukturelle Imperfektionen (z. B. Eigenspannungen, ungleichmäßige Verteilung der Streckgrenze etc.) als auch geometrische Imperfektionen (z. B. Schiefstellungen, Vorkrümmungen, Toleranzen) zu berücksichtigen. Da sich die geometrischen Imperfektionen einfacher in einer Stabwerksberechnung abbilden lassen als z. B. Walzeigenspannungen, werden die geometrischen und strukturellen Imperfektionen in der Regel zu äquivalenten geometrischen Ersatzimperfektionen umgewandelt, die als globale Imperfektionen (Schiefstellung) für das Gesamttragwerk oder das betrachtete aussteifende System oder als lokale Imperfektionen (Schiefstellung einzelner Tragglieder, Stabkrümmungen) für ein einzelnes Bauteil anzusetzen sind. Diese Ansätze dienen dazu, unvermeidbare „Ungenauigkeiten“ zu berücksichtigen. Echte Fehler der Konstruktion oder der Herstellung (z. B. Verwechslung von Materialstärken oder Materialgüten) werden damit nicht abgedeckt und können insofern auch nicht durch die Imperfektionen „entschuldigt“ werden.

Die Imperfektionen sind in erster Linie in Hinblick auf die Anwendung der Fließgelenktheorie definiert. So erfassen i. Allg. die Imperfektionen für die plastische Bemessung auch die Ausbildung von Fließzonen und die dadurch vergrößerten Verformungen. Andererseits sind aber Einflüsse von nachgiebigen Verbindungen und Anschlüssen, vgl. EN 1993-1-8, Abs. 6.3, Schubverformungen oder auch Fundamentsetzungen u. Ä., wenn sie eine relevante Größenordnung haben, gesondert zu berücksichtigen.

Zu 5.3.2(1) und (2)

Die Annahme der Imperfektion in Anlehnung an die zum kleinsten Eigenwert gehörende Knickfigur führt im Regelfall (nicht immer, vgl. [K6]) zur ungünstigsten Beanspruchung. Die Annahme der Biegeverformung als Imperfektionsform kann dagegen zu unsicheren Ergebnissen führen, vgl. Hinweise zum „Spannungsproblem mit Verzweigungspunkt“ in [K7]. Es muss jeweils nur eine Imperfektion in einer Richtung angesetzt werden.

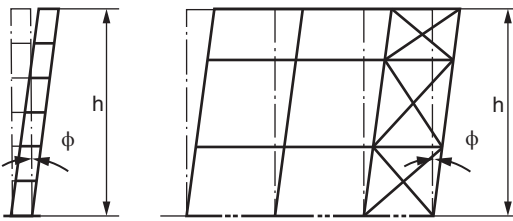


Bild 5.2. Äquivalente Stützenschiefstellung

a) globale Anfangsschiefstellung, siehe Bild 5.2:

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

Dabei ist

ϕ_0 der Ausgangswert: $\phi_0 = 1/200$;

α_h der Abminderungsfaktor für die Höhe h von Stützen:

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

h die Höhe des Tragwerks, in m;

α_m der Abminderungsfaktor für die Anzahl

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

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

b) eingeprägte Vorkrümmung von Bauteilen

$$e_0/L \quad (5.6)$$

Dabei ist L die Bauteillänge.

Anmerkung: Die Werte e_0/L können dem Nationalen Anhang entnommen werden. Empfohlene Werte sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Zu 5.3.2(3) a) Gl. (5.5) und Bild 5.2

Die Schiefstellung ist ungünstig anzusetzen, dabei kann sich die Höhe h auf die Tragwerkshöhe, aber auch auf den Einzelstab beziehen. Erläuterungen dazu sind z. B. [K2] Bild 6 zu entnehmen. Die Begrenzung von $2/3$ für α_h führt bei hohen Tragwerken, z. B. Kesselhäusern, zu sehr ungünstigen Werten, die weit über vergleichenden Werten aus Messungen liegen, [K6], Abschnitt 4.5. Hinweise zum Hintergrund und zur Anwendung sind auch in [K44] gegeben.

Zu 5.3.2(3) b) und Tabelle 5.1

Die Größe der eingepprägten Vorkrümmung e_0 von Bauteilen ist dabei nur von der Bauteillänge L (nicht der Knicklänge!) und der dem Querschnitt des Bauteils gemäß Tabelle 6.2 zuzuordnenden Knicklinie abhängig. Mit elastischer bzw. plastischer Berechnung ist hier die elastische bzw. plastische Querschnittsausnutzung gemeint.

Tatsächlich ist die Größe der Ersatzimperfectionen auch von der Größe des bezogenen Schlankheitsgrades abhängig, wie es in der ENV vorgesehen war. Beispiele dafür finden sich z. B. in [K18].

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.3.2(3) Anmerkung

Die Empfehlungen dürfen angewendet werden. Falls die Ermittlung der Schnittgrößen des Gesamtsystems nach der Elastizitätstheorie erfolgt und ein Querschnittsnachweis mit einer linearen Querschnittsinteraktion geführt wird, dürfen auch die Werte nach Tabelle NA.2 verwendet werden.

Die angegebenen Bemessungswerte der Vorkrümmung e_0/L dürfen die zulässigen Toleranzen der Produktnormen nicht unterschreiten.

Tabelle NA.2. Vorkrümmung e_0/L von Bauteilen

Knicklinie nach DIN EN 1993-1-1: 2010-08, Tabelle 6.1	elastische Querschnitts- ausnutzung e_0/L	plastische Querschnitts- ausnutzung e_0/L
a_0	1/600	wie bei elastischer
a	1/550	Querschnittsaus- nutzung, jedoch
b	1/350	$\frac{M_{pl,k}}{M_{el,k}}$ -fach
c	1/250	
d	1/150	

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

$$H_{Ed} \geq 0,15 V_{Ed} \quad (5.7)$$

Zu NDP zu 5.3.2(3) Anmerkung

Für den Fall einer Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie und linearer Querschnittsinteraktion gemäß Gl. (6.2) erlaubt der Nationale Anhang für den Ansatz der Vorkrümmungen eine abweichende Regelung gemäß Tabelle NA.2. Die Abweichungen im Vergleich zu Tabelle 5.1 beruhen auf einem Vergleich zwischen den Ergebnissen des Bauteilnachweises nach Abschnitt 6 auf Basis der Knickspannungslinien und den erzielbaren Ergebnissen bei einer Berechnung nach Theorie II. Ordnung am rein gelenkigen Druckstab bei Annahme einer linearen Querschnittsinteraktion und der Affinität von Verformung und Schnittgröße. Außerdem wurde der Vergleich im Bereich eines bezogenen Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}$ von etwa 1 geführt, da in diesem Bereich der größte Effekt der Imperfectionen vorhanden ist. Jüngste Vergleichsrechnungen zeigen jedoch, dass die Werte gemäß der ursprünglichen Tabelle zum Teil unsichere Ergebnisse im Vergleich zu den Knickspannungslinien liefern. Die neue Tabelle NA.2 ist entsprechend korrigiert, siehe auch [K44].

Tabelle 5.1. Bemessungswerte der Vorkrümmung e_0/L von Bauteilen

Knicklinie nach Tabelle 6.2	elastische Berechnung e_0/L	plastische Berechnung e_0/L
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

(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 ϕ die mit Gleichung (5.5) ermittelte Anfangsschiefstellung eines Stockwerks mit der Höhe h , siehe (3) a).

(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:

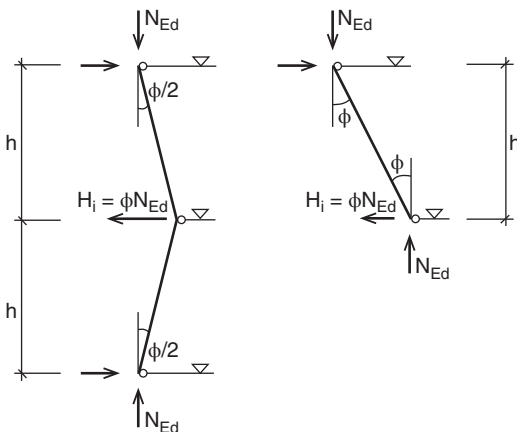
- mindestens ein Bauteilende ist eingespannt bzw. biegesteif verbunden;

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

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.

**Bild 5.3.** Anordnung der Anfangsschiefstellung ϕ für Horizontalkräfte auf aussteifende Deckenscheiben

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.

(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.

Zu 5.3.2(4)B

Diese Regelung greift die Erfahrung bei üblichen Hochbauten wie Rahmentragwerken auf, dass bei überwiegender planmäßiger Horizontalbeanspruchung der Einfluss der Schiefstellung gering ist.

Zu 5.3.2(5)B

Für unterschiedliche Geschosshöhen resultieren auch unterschiedliche Schiefstellungen in den jeweiligen Stäben. Es wird zwar nach wie vor eine gesamte Winkeländerung von φ angesetzt, die aber aufgrund der unterschiedlichen Geschosshöhen für beide Stäbe verschieden groß ist. Die anzusetzende horizontale Ersatzlast ergibt sich somit aus der entsprechenden Normalkraft und Schiefstellung im jeweiligen Stab.

Zu 5.3.2(6) Gleichung (5.8)

Das Kriterium nach Gleichung (5.8) entspricht näherungsweise für $s_k = L$ dem Stabkennzahl-Kriterium Gl. (11) aus DIN 18800-2, Element (207) [K2], das festlegt, wann zusätzlich zu einer Schiefstellung auch noch eine lokale Stab-Vorkrümmung anzusetzen ist. Ähnlich wie in der bisherigen Praxis trifft das auch hier nur auf sehr schlanke Einzelstäbe zu.

Während nach DIN 18800-1, Element (729)ff auch eine (reduzierte) Anfangsschiefstellung für Tragwerke, die auf der Basis von Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung zu bemessen sind, anzunehmen war, ist dies in EN 1993-1-1 nicht gefordert. Darüber hinaus weist DIN 18800-1 in Element (732) auf Stabwerke mit geringer Horizontalast hin, sogenannte Haus-in-Haus-Konstruktionen zum Beispiel, die keiner Windbelastung ausgesetzt sind und deshalb mit erhöhter Anfangsschiefstellung zu berechnen sind. In diesen Fällen sollte man, selbst wenn das Tragwerk gemäß EN 1993-1-1, Abs. 5.2.1 (3) und Kriterium nach Gleichung (5.1) nicht stabilitätsgefährdet ist, auch bei der Berechnung nach EN 1993-1-1 die Anfangsschiefstellung nach Gleichung (5.5) berücksichtigen. Dabei bleibt es natürlich trotzdem bei einer Schnittgrößenermittlung nach Theorie I. Ordnung und dem entsprechenden Querschnittsnachweis.

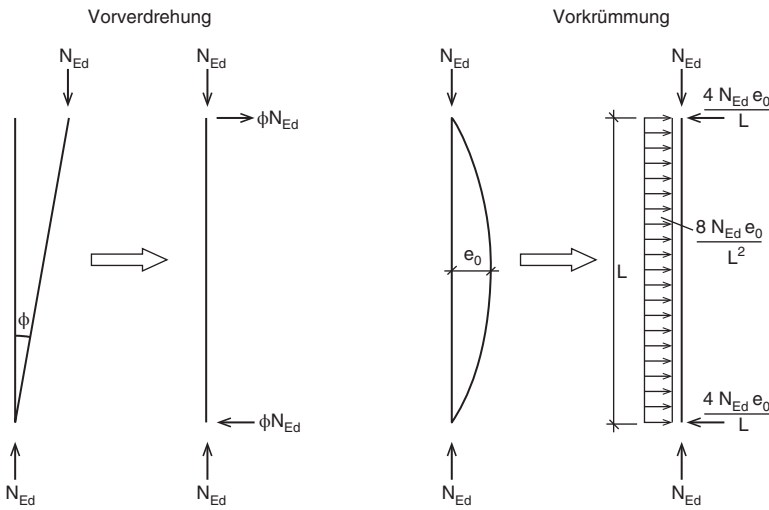


Bild 5.4. Ersatz der Vorverformungen durch äquivalente horizontale Ersatzlasten

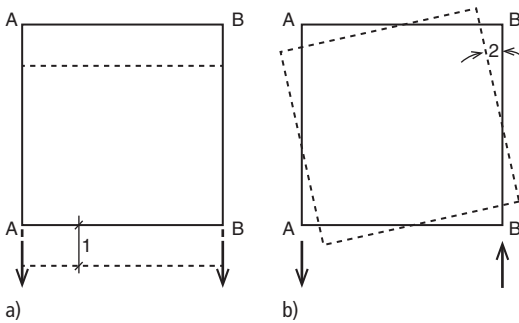


Bild 5.5. Verschiebungsmöglichkeiten und Einflüsse aus Torsion (Draufsicht). a) Seiten A-A und B-B verschieben sich symmetrisch, b) Seiten A-A und B-B verschieben sich antimetrisch. Legende: 1 Verschiebung 2 Verdrehung

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

$$\eta_{init} = e_0 \frac{N_{cr}}{EI|\eta''_{cr}|_{max}} \eta_{cr} = \frac{e_0}{\lambda} \frac{N_{Rk}}{EI|\eta''_{cr}|_{max}} \eta_{cr} \quad (5.9)$$

mit

$$e_0 = \alpha \left(\bar{\lambda} - 0,2 \right) \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}} \frac{1 - \frac{\bar{\lambda}^2}{\chi^2}}{1 - \frac{\bar{\lambda}_{M1}}{\chi^2}} \quad \text{für } \bar{\lambda} > 0,2 \quad (5.10)$$

und

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

Dabei ist

$\bar{\lambda}$ der Schlankheitsgrad des Tragwerks;

- α der Imperpektionsbeiwert der zutreffenden Knicklinie, siehe Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2;
- χ der Abminderungsfaktor der zutreffenden Knicklinie abhängig vom maßgebenden Querschnitt, siehe 6.3.1;
- $\alpha_{ult,k}$ 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;
- α_{cr} der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte N_{Ed} , um ideale Verzweigungslast 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. $N_{pl,Rk}$;
- η_{cr} die Form der Knickfigur;
- $EI|\eta''_{cr}|_{max}$ das Biegemoment infolge η_{cr} am kritischen Querschnitt.

Anmerkung 1: Für die Berechnung der Vergrößerungsfaktoren $\alpha_{ult,k}$ und α_{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. 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.

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

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.3.2(11) Anmerkung 2

Das allgemeine Verfahren zur Ermittlung der maßgebenden Eigenfigur und deren maximale Amplitude der geometrischen Ersatzimperfektion darf angewendet werden. Falls unter Verwendung der nach Gleichung (5.9) ermittelten Imperfektionen die Ermittlung der Schnittgrößen des Gesamtsystems nach der Elastizitätstheorie erfolgt und ein Querschnittsnachweis unter Berücksichtigung der plastischen Tragfähigkeit geführt wird, dann muss der Querschnittsnachweis mit einer linearen Querschnittsinteraktion erfolgen.

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 abgestützten Bauteile durch äquivalente geometrische Ersatzimperfektionen in Form von Vorkrümmungen zu berücksichtigen:

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

Zu 5.3.2(11) mit NDP

Hier wird anstelle von auf die Stablänge bezogener pauschaler Schiefstellung und Vorkrümmung zusätzlich die Möglichkeit eröffnet, die maßgebende mit e_0 skalierte Eigenform als Imperfektion anzusetzen. Der Ansatz der rechnerisch ermittelten Vorkrümmung e_0 muss unter Berücksichtigung der Randbedingungen und somit der Schlankheit des betrachteten Systems erfolgen. Die Ermittlung der Imperfektionen aus der Eigenform wird z. B. im Leitfaden zum DIN-Fachbericht 103, Abs. II-X.4.3.2 bzw. Abs. 6.4.4 [K8] ausführlich beschrieben. Hinweise sind auch in [K5] gegeben. Der Nachweis darf so nur für elastische Tragwerksberechnung und lineare Querschnittsinteraktion geführt werden.

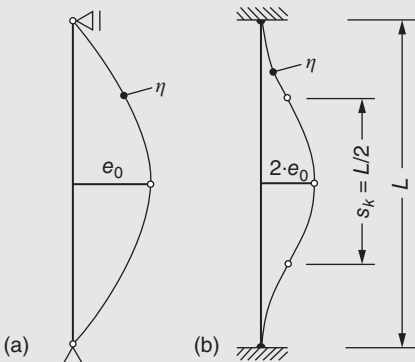


Bild K1. Ansatz der Imperfektionen bei einem gelenkig gelagerten Stab (a) und beidseitig eingespannten Stab (b) (nur qualitativer Vergleich)

Dabei ist

L die Spannweite des aussteifenden Systems;

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

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

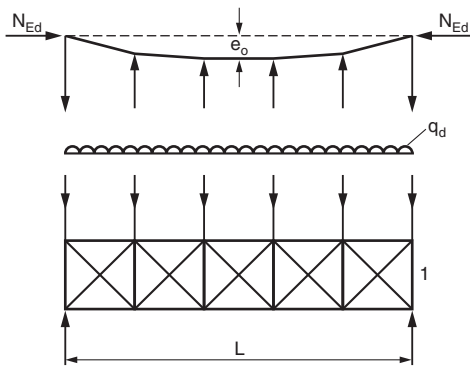
Anmerkung: δ_q darf 0 gesetzt werden, falls nach Theorie II. Ordnung gerechnet wird.

In Bild K1 ist beispielhaft der Ansatz bei einem gelenkigen und einem beidseitig eingespannten Stab dargestellt. Da sich die Vorkrümmung auf die Knicklänge bezieht (Bild K1(b)), ergibt sich bei dem beidseitig eingespannten Stab der Gesamtstich der Imperfektionsfigur zu $\eta_{\max} = 2 \cdot e_0$. Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass e_0 – anders als für den Pauschalansatz – hier von der Schlankheit des Systems abhängt und somit für die beiden dargestellten Fälle in Bild K1 betragsmäßig unterschiedlich ist.

Zu 5.3.3

Leider erfolgt die Zuordnung von Stabilisierungskräften und Imperfektionen für aussteifende Tragwerksteile zu den verschiedenen Abschnitten in EN 1993-1-1, Kapitel 5.3 Imperfektionen nicht eindeutig. Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen vertikalen Aussteifungssystemen, die zum Beispiel in Form von vertikalen Fachwerkscheiben oder auch Massivwänden und Treppenhauskernen dafür sorgen, dass die übrige Stahl- bzw. Verbundrahmenkonstruktion als „unverschieblich“ charakterisiert werden kann, hierfür gilt 5.3.2(7) bis 5.3.2(10), und Horizontalaussteifungssysteme, die zum Beispiel als Dachverband bei Hallen sowohl Windlasten wie auch Abtriebskräfte zur Stabilisierung der Binder abtragen und in 5.3.3(1) bis 5.3.3(3) behandelt werden.

In DIN 18801 [K12] Abschnitt 6.1.4 wird der Hinweis gegeben, dass auch Bauteile aus einem anderen Werkstoff als Stahl (z. B. Mauerwerkswände, Holzpfeiler) zur Aussteifung von Stahlbauten herangezogen werden dürfen und diese dann ggf. auch für entsprechende Imperfektionen der auszusteifenden Bauwerksteile zu dimensionieren sind. Diese Regelung ist sicher auch auf eine Tragwerksberechnung nach EN 1993-1-1 zu übertragen.



Legende

e_0 Imperfektion

q_d äquivalente Kräfte pro 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

(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.

(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, die auf das aussteifende System wirken, wobei die Kräfte aus dem Einfluss der Imperfektion aus (1) vernachlässigt werden dürfen.

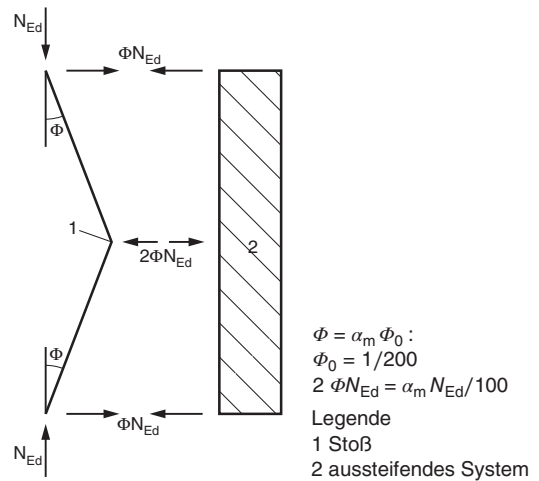


Bild 5.7. Lokale Ersatzkräfte an Stößen in druckbeanspruchten Bauteilen

5.3.4 Bauteilimperfektionen

(1) Die Einflüsse von Bauteilimperfektionen 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 $k \cdot e_0$ angenommen werden, wobei e_0 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.

Zu 5.3.3(2)

Die Ersatzlast, wenn das aussteifende System sich nicht selbst auch verformt, kann durch die Umsetzung in eine äquivalente Gleichstreckenlast über die angenommene Parabelform gemäß Gl. (5.13) erfolgen. Daraus ergibt sich für $e_0 = \alpha_m \cdot L/500$:

$$q = \alpha_m \cdot \sum \frac{N_{Ed}}{62,5 \cdot L}$$

Diese Ersatzlasten gelten nur, wenn das aussteifende System sich nicht selbst auch verformt. δ_q beschreibt in Gleichung (5.13) die Verformung des aussteifenden Systems infolge der Imperfektion und weiterer äußerer Lasten. Wenn δ_q ausreichend klein ist, kann man diesen Effekt vernachlässigen. Hierfür gibt es in der Vor Norm ENV 1993-1-1 [K45] das folgende Kriterium: $\delta_q \leq L/2500$.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 5.3.4(3) *Anmerkung*

Die Imperfektion ist anstelle von $(k \cdot e_0)$ mit den Werten der Tabelle NA.3 anzunehmen. Diese Werte sind im Bereich $0,7 \leq \bar{\lambda}_{LT} \leq 1,3$ zu *verdoppeln*.

Tabelle NA.3. Äquivalente Vorkrümmungen e_0/L

Querschnitt	Abmessungen	elastische Querschnittsausnutzung e_0/L	plastische Querschnittsausnutzung e_0/L
gewalzte I-Profile	$h/b \leq 2,0$	1/500	1/400
	$h/b > 2,0$	1/400	1/300
geschweißte I-Profile	$h/b \leq 2,0$	1/400	1/300
	$h/b > 2,0$	1/300	1/200

5.4 Berechnungsmethoden**5.4.1 Allgemeines**

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

- elastische Tragwerksberechnung;
- 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:

- die Schnittgrößen des Tragwerks mit den äußeren Einwirkungen im Gleichgewicht stehen;
- alle Bauteile, bei denen die Momente abgemindert werden, Querschnitte der Klasse 1 oder 2 (siehe 5.5) aufweisen;
- 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 5.1.2.

(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.

Zu 5.3.4(3) und NDP

Die Imperfektionen für die Tragwerksberechnung nach Theorie II. Ordnung aus der Rahmenebene heraus, also für das Biegedrillknicken, sind abweichend von den ursprünglichen Empfehlungen nach EN 1993-1-1 gemäß der Tabelle NA.3 anzunehmen. Im Gegensatz zum Biegeknicken, bei dem sich Stäbe mit großem h/b -Verhältnis günstiger verhalten als solche mit kleinem h/b -Verhältnis, ist es beim Biegedrillknicken anders. Beim Biegedrillknicken verhalten sich I-Profile mit $h/b > 2,0$ ungünstiger als solche mit $h/b < 2,0$. Untersuchungen haben gezeigt, dass die reduzierten Werte der Imperfektionen im mittleren Schlankheitsbereich $(0,7 < \bar{\lambda}_{LT} < 1,3)$ nicht angewendet werden dürfen, sondern zu verdoppeln sind, vgl. [K11, K28].

Zu 5.4

Leider enthält DIN EN 1993-1-1 eine Anzahl von Begriffen, die missverständlich oder sprachlich nicht korrekt sind. Dazu zählen insbesondere: „elastische Tragwerksberechnung“ und „elastische Berechnung“ statt „Berechnung nach der Elastizitätstheorie“, „plastische Tragwerksberechnung“ und „plastische Berechnung“ statt „Berechnung nach der Plastizitätstheorie“. Ähnliches gilt auch für „elastische Spannungsverteilung“ statt „Spannungsverteilung nach der Elastizitätstheorie“ oder „plastische Querschnittstragfähigkeit“ statt „Tragfähigkeit nach der Plastizitätstheorie“ usw. Zum Wiedererkennen behalten die Kommentare die Begriffe der Norm bei.

Zu 5.4.1(3)

Der Begriff der Rotationsebene ist an dieser Stelle leider etwas unglücklich gewählt. Eigentlich ist hier die Rotationsachse des plastischen Gelenks gemeint. Eine plastische Tragwerksberechnung ist nur für doppelsymmetrische oder einfachsymmetrische Bauteilquerschnitte mit einer Symmetrieebene parallel zur Rotationsachse des plastischen Gelenks anzuwenden. Hintergrund hierfür ist die Annahme einer vollplastischen Spannungsverteilung, die möglichst nahe am wahren Spannungs-Dehnungsverhalten bleiben soll und nicht zu einem Verschieben der „plastischen Nulllinie“ führt. Dementsprechend ist die Anwendung einer plastischen Tragwerksbemessung für U-Profile um die starke Achse erlaubt und für T-Profile um die starke Achse ausgeschlossen.

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.

(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.

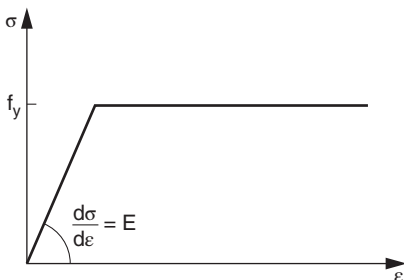


Bild 5.8. Bi-lineare Spannungs-Dehnungsbeziehung

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, 4.4.

Zu 5.4.3

Anders als in DIN 18800-1 [K1] werden einerseits neben den Bauteilen auch jeweils das Trag- und Verformungsverhalten der Knoten mit in die Betrachtung einbezogen und werden andererseits die plastischen Verfahren starker differenziert. So werden zwischen einem elastisch-plastischen Verfahren, das Fließgelenke in plastizierten Stabquerschnitten oder Knoten annimmt, einem nichtlinear-plastischen Verfahren, das die Teilplastizierung von Stabquerschnitten in plastischen Zonen verfolgt (Fließzonentheorie), und einem sogenannten starr-plastischen Verfahren, das der üblichen Fließgelenktheorie Theorie I. Ordnung entspricht, aber das elastische Verhalten zwischen den Fließgelenken vernachlässigt, unterschieden. Es besteht also die Möglichkeit nach der Fließzonentheorie unter Einsatz von FE-Modellen genauere Ansätze zu wählen, siehe hierzu z. B. Anhang C in EN 1993-1-5.

Die Zuordnung der Tragwerksknoten und ihre Modellierung zu den Berechnungsmethoden erfolgen nach EN 1993-1-8, Kap. 5, vgl. auch [K9, K10].

Beim starr-plastischen Verfahren wird nur betrachtet, ob der gewählte plastische Schnittgrößenzustand im System im Gleichgewicht ist, ohne die plastische Beanspruchbarkeit von Stabquerschnitten und Knoten zu verletzen. Die Steifigkeit auch von verformbaren Knoten interessiert nicht. Dieses Verfahren ist natürlich nur dann anwendbar, wenn Verformungen keine Rolle spielen, d. h. auch kein Nachweis nach Theorie II. Ordnung oder Biegeknicke nachweis zu führen ist.

(3) Die Klassifizierung eines Querschnittes ist vom c/t -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 c/t -Verhältnis, das nach Tabelle 5.2

mit einer Erhöhung von ϵ $\sqrt{\frac{f_y/\gamma_{M0}}{\sigma_{\text{com,Ed}}}}$ ermittelt wird,

kleiner als die Grenze für Klasse 3 ist. Dabei ist $\sigma_{\text{com,Ed}}$ 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 ϵ 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.

Zu 5.5.2

Maßgebend für die Querschnittsklassifizierung sind die druckbeanspruchten Teile eines Querschnitts. Die Dehnung im Zugbereich kann zum Beispiel bei Klasse-3-Querschnitte die Fließdehnung durchaus überschreiten, solange der Druckbereich nur elastisch bis zur um den Teilsicherheitsbeiwert reduzierten Streckgrenze ausgenutzt ist.

Einschränkungen infolge Beulgefährdung durch Schub sind gesondert zu behandeln, vgl. EN 1993-1-1, 6.2.6 (6). Auch werden jeweils nur einzelne unausgesteifte Blechfelder betrachtet. Es kann also sein, dass, auch wenn die Einzelfelder eines durch Längssteifen ausgesteiften Blechfeldes jedes für sich die Kriterien für Klasse-3-Querschnittsteile erfüllen, also für sich nicht beulgefährdet sind, trotzdem ein Nachweis für das Beulen des Gesamtfeldes nach EN 1993-1-5, Abs. 4.5 erforderlich ist.

Für beidseitig gestutzte druckbeanspruchte Querschnittsteile zeigt [K34], dass um Konsistenz zu den anderen Normenteilen EN 1993-1-5 und EN 1993-1-3 zu erreichen, bei dem vorgegebenen Sicherheitsniveau die Grenzwerte c/t kleiner werden müssen. Die empfohlene Grenze zwischen den Querschnittsklassen 3 und 4 sieht einen Wert von 38 (statt 42) vor und zwischen den Querschnittsklassen 2 und 3 einen Wert von 34 (statt 38).

Zu 5.5.2(9) und 5.5.2(10)

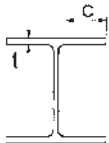
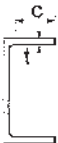
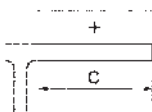
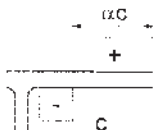
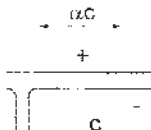
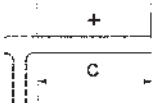
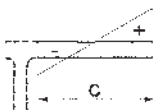
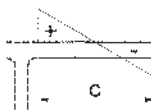
Wenn die Spannungsausnutzung im Querschnitt geringer als die Streckgrenze $f_{y,d}$ ist, kann es sich lohnen, die Grenzabmessungen nach Tabelle 5.2 mit dem entsprechenden im Verhältnis von $f_{y,d}$ zur einwirkenden Druckspannung $\alpha_{\text{com,Ed}}$ modifizierten ϵ -Wert zu bestimmen. Die Ermittlung von $\alpha_{\text{com,Ed}}$ erfolgt dann ggf. über eine iterative Berechnung für den Gesamtzustand $(N_{\text{Ed}} + M_{y,\text{Ed}} + M_{z,\text{Ed}})$. Das Verfahren nach 5.5.2(9) gilt nicht für Stabilitätsnachweise eines Bauteils nach Abs. 6.3. Hierfür sind die Grenzabmessungen c/t nach Klasse 3 in Tabelle 5.2 ohne Erhöhung von ϵ zu bestimmen, da für das Ersatzstabverfahren nach EN 1993-1-1, Abs. 5.2.2 (8) u. U. Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung verwendet werden und somit möglicherweise die wahren Spannungen unterschätzt werden. Die Formulierung ist etwas missverständlich, weil auch im Rahmen von Methode b), siehe EN 1993-1-1, Abs. 5.2.2 (7) der Einzelstabnachweis nach EN 1993-1-1, Abs. 6.3 geführt wird, aber hier dann Stabschnittgrößen nach Theorie II. Ordnung vorliegen. Dann ist es also durchaus möglich, die einzelnen Querschnittsteile oder Einzelbeulfelder gemäß den Grenzabmessungen in Tabelle 5.2 unter Berücksichtigung der mit $\alpha_{\text{com,Ed}}$ erhöhten ϵ -Werte zuzuordnen.

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

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

^a 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. Maximales c/t -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Fortsetzung)

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	$clt < 9\varepsilon$	$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$clt < \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$clt < 10\varepsilon$	$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$clt < \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)						
3	$clt \leq 14\varepsilon$	$clt \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Für k_σ siehe EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y	235	275	355	420
		ε	1,00	0,92	0,81	0,75

Zu Tabelle 5.2

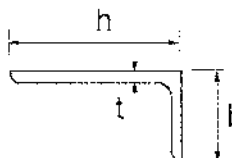
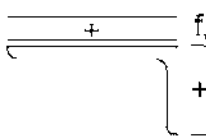
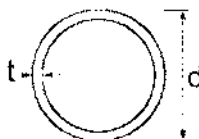
Eigentlich müssten die Grenzwerte clt für die Klasse-3-Querschnittsteile nach EN 1993-1-1, Tabelle 5.2 genau mit den Grenzwerten übereinstimmen, die gemäß EN 1993-1-5 zu Reduktionsfaktor $\rho = 1,0$ führen, denn dann braucht die Bruttofläche nicht reduziert zu werden – lokales Beulen spielt keine Rolle und der Querschnitt ist voll wirksam. Leider trifft das nicht für alle Fälle zu. Im Rahmen eines europäischen Forschungsprojekts wurden Vorschläge entwickelt, für beidseitig gestützte Querschnittsteile die Grenzwerte anzupassen, und zwar nicht nur für die Grenzen zwischen den Klassen 3 und 4, sondern auch für die übrigen Grenzwerte der Klassen 1 und 2. Dieser Vorschlag, der z. T. zu ungünstigeren Grenzwerten führt, siehe auch Kommentar zu 5.5.2, wird

in der Überarbeitung von EN 1993-1-1 Berücksichtigung finden. Er ist in [K44] beschrieben.

In Tabelle 5.2 gibt es einen eigenen Bereich für die Querschnittsklassifizierung von Winkelquerschnitten. Zusätzlich ist darin ein Verweis auf die Klassifizierung einseitig gestützter Flansche in Tabelle 5.2 angegeben. Die beiden Klassifizierungen führen für manche Winkelquerschnitte zu unterschiedlichen Ergebnissen und stehen somit im Widerspruch zueinander. Die Klassifizierung für Winkelprofile sollte unseres Erachtens ungeachtet der Bemerkung nach dem Tabellenabschnitt für Winkelprofile erfolgen.

Jüngste Untersuchungen [K33] zeigen, dass lokales Beulen im baupraktischen Bereich für Winkelprofile eher nicht vorkommt. Trotzdem kann das Einhalten des Kriteriums sinnvoll sein, da dadurch Drillknickversagen vorgebeugt wird.

Tabelle 5.2. Maximales c/t -Verhältnis druckbeanspruchter Querschnittsteile (Fortsetzung)

Winkel						
		gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen				
Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ in Tabelle 5.2, oben						
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile					
3						
		$h/t \leq 15\varepsilon$ und $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$				
Runde Hohlquerschnitte						
						
Klasse	auf Biegung und/oder Druck beanspruchte Querschnittsteile					
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
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

- (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.

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 γ_M wie folgt abgemindert:

- die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse): γ_{M0}
- die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen): γ_{M1}
- die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung: γ_{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 γ_{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 γ_{Mi} nach EN 1993-2 empfohlen.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.1(1) Anmerkung 1
Es gilt die Empfehlung.

Anmerkung 2B: Der Nationale Anhang kann die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Hochbauten festlegen. Folgende Zahlenwerte werden empfohlen:

- $\gamma_{M0} = 1,00$;
- $\gamma_{M1} = 1,00$;
- $\gamma_{M2} = 1,25$.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.1(1) Anmerkung 2B

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} für Hochbauten sind wie folgt festgelegt:

- $\gamma_{M0} = 1,0$;
- $\gamma_{M1} = 1,1$;
- $\gamma_{M2} = 1,25$.

Bei Stabilitätsnachweisen in Form von Querschnittsnachweisen mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung (siehe 5.2) ist bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit von Querschnitten statt γ_{M0} der Wert $\gamma_{M1} = 1,1$ anzusetzen.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} sind für außergewöhnliche Bemessungssituationen wie folgt festgelegt:

- $\gamma_{M0} = 1,0$;
- $\gamma_{M1} = 1,0$;
- $\gamma_{M2} = 1,15$.

6.2 Beanspruchbarkeit von Querschnitten

6.2.1 Allgemeines

(1)P 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.

Zu 6.1(1) und NDP zu 6.1(1) Anmerkung 2B

Es werden zwei unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte definiert: γ_{M0} für die Querschnittsnachweise nach Abs. 6.2 für alle Querschnittsklassen (also auch für beulgefährdete Querschnitte der Klasse 4) und γ_{M1} für Stabilitätsnachweise von Bauteilen nach Abs. 6.3. Diese Unterscheidung war für die ursprüngliche Empfehlung in EN 1993-1-1 unerheblich, weil beide Werte darin zu 1,0 empfohlen wurden. Der deutsche Nationale Anhang ist aber nicht der Empfehlung gefolgt, sondern hat für die beiden Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedliche Werte, nämlich γ_{M0} zu 1,0 und γ_{M1} zu 1,1 gewählt, zu den Argumenten siehe [K44]. Wegen der oben erläuterten Differenzierung, die sich mit dem Begriff „Bauteilnachweis“ eigentlich nur auf die Nachweise nach Abs. 6.3 bezieht und theoretisch nicht auf die Querschnittsnachweise mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung, wird im Text des NDP klargestellt, dass auch Querschnittsnachweise mit Schnittgrößen nach Theorie II. Ordnung als Stabilitätsnachweise zu verstehen sind und hierfür der erhöhte Teilsicherheitsbeiwert γ_{M1} gilt.

Ähnlich folgt der Nationale Anhang für EN 1993-2 Stahlbrücken auch nicht der Empfehlung bezüglich der Behandlung von beulgefährdeten Querschnitten der Klasse 4, sondern legt fest, dass bei Anwendung von γ_{M0} in EN 1993-1-5 ein Wert von 1,1 anzusetzen ist. Entsprechend verschiedener Quellen, siehe [K44], ist hier dringend zu empfehlen, bei entsprechenden schlanken Klasse-4-Querschnitten anderer Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel bei Kranbahnen dem Brückenbau mit γ_{M0} von 1,1 in allen Nachweisen nach EN 1993-1-5 zu folgen.

(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 einwirkenden Normalspannung in Längsrichtung am betrachteten Punkt;

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

τ_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Schubspannung am betrachteten Punkt.

Anmerkung: Die Nachweisführung nach (5) kann konservativ sein, da sie die teilweise plastischen Spannungsumlagerungen, 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.

Zu 6.2.1(2)

„Mittragende Breite“ bezeichnet die Wirkung der ungleichförmigen Spannungsverteilung aus Schubverzerrung und „wirksame Breite“ die Wirkung von örtlichem Plattenbeulen.

Mittragende Breiten zur Berücksichtigung der Schubverzerrungen bei elastischem Werkstoffverhalten sind in EN 1993-1-5, Abschnitt 3.2 gegeben. Wirksame Breiten zur Berücksichtigung der Wirkung des örtlichen Plattenbeulens oder „wirksame Querschnittswerte“ werden nach EN 1993-1-5, Kap. 4 ermittelt. Die gemeinsame Wirkung ist in EN 1993-1-5, Abschnitt 3.3 geregelt. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann unter Voraussetzung elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens und gleichzeitiger Berücksichtigung von Schubverzerrung und Plattenbeulen die wirksame Fläche des Druckgurtes durch den Abminderungsfaktor gemäß Gleichung (3.5) in EN 1993-1-5, Abschnitt 3.3 verringert werden.

Nachweise für Schubbeulen dünner Bleche sind in EN 1993-1-5, Kap. 5 gegeben, für die Nachweise zu Beulen unter lokaler Querbelastrung enthält EN 1993-1-5, Kap. 6 Regeln, für die Interaktion dieser verschiedenen Beulphänomene gilt EN 1993-1-5, Kap. 7. Als Alternative zu den genannten Beulnachweisen enthält EN 1993-1-5 in Kap. 10 auch Nachweise mit Bruttoquerschnittswerten und reduzierten Spannungen.

Weitere Erläuterungen zu den Beulnachweisen sind in [K13–K15] zu finden.

Für kaltgeformte Bleche und Profile gelten die Regeln in EN 1993-1-3, siehe hierzu [K46].

Zu 6.2.1(4) und (5)

Während plastische Querschnittsausnutzung nur für Querschnitte der Klasse 1 und 2 möglich ist, vgl. Definition der Querschnittsklassen in Abschnitt 5.5, können elastische Spannungsnachweise für Querschnitte aller Klassen geführt werden. Während für gewisse Querschnittstypen wie I- oder H-Querschnitte in den folgenden Abschnitten zum Teil sehr vorteilhafte, vereinfachte Nachweise genannt sind, stellt das Fließkriterium nach Gleichung (6.1) einen immer gültigen konservativen Grenzspannungsnachweis dar.

Zu 6.2.1(7) und Gleichung (6.2)

Die Übersetzung „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.“ ist nicht korrekt. Gemeint ist nach dem englischen Normtext „wobei N_{Rd} , $M_{y,Rd}$ und $M_{z,Rd}$ die Bemessungswerte der Tragfähigkeiten abhängig von der Querschnittsklasse und unter Berücksichtigung des Querkrafteinflusses nach 6.2.8 sind.“

In die konservative lineare Interaktionsbeziehung nach Gleichung (6.2) können für Querschnitte der Klassen 1 und 2 plastische Querschnittswerte oder Grenzschnittgrößen, für Querschnitte der Klasse 3 elastische Grenzschnittgrößen eingesetzt werden. Zusätzlich sind die Effekte aus Querkraft nach 6.2.6 und Torsion nach 6.2.7 zu berücksichtigen.

(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:

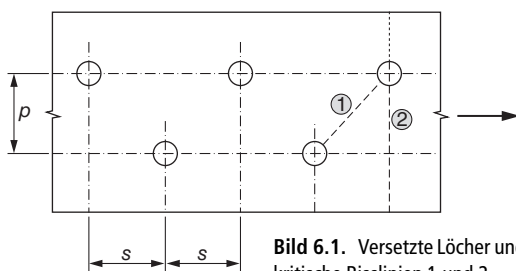


Bild 6.1. Versetzte Löcher und kritische Risslinien 1 und 2

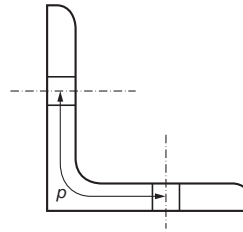


Bild 6.2. Winkel mit Löchern in beiden Schenkeln

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

$$b) t \left(n d_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right) \quad (6.3)$$

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.

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.

Zu 6.2.2.3

Vgl. Hinweise zu 6.2.1(2)

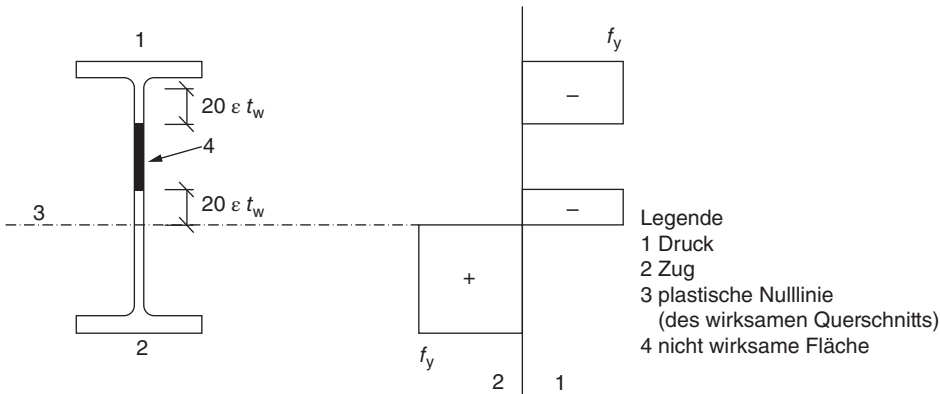


Bild 6.3. Wirksame Stegfläche für Klasse-2-Querschnitte

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:

$$\Delta M_{\text{Ed}} = N_{\text{Ed}} e_N \quad (6.4)$$

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) Für den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft N_{Ed} ist an jedem Querschnitt folgender Nachweis zu erfüllen:

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

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

a) der Bemessungswert der plastischen Beanspruchbarkeit des Bruttoquerschnitts:

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

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

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

(3) Wird eine Kapazitätsbemessung gefordert, siehe EN 1998, muss der Bemessungswert der plastischen

Zu 6.2.2.5(4) und Gleichung (6.4)

Für Querschnitte der Klasse 4 wird nach EN 1993-1-5, Abschnitt 4.3 in der Regel die wirksame Querschnittsfläche vereinfachend unter der Annahme einer reinen Druckkraft ermittelt. Das heißt, bei einem doppelsymmetrischen Querschnitt kommt es nicht zu einer Hauptachsenverschiebung, auch dann nicht, wenn zusätzlich zu der Druckkraft noch ein Biegemoment vorhanden ist. Dies weicht von der Regelung in DIN 18800-2, El. (709), Bilder 41 und 42 [K2] ab. Nur bei unsymmetrischen Querschnitten kann man unter Annahme von konstanter Druckspannung im Querschnitt einen Versatz der Schwerachse ermitteln. Da man davon ausgeht, dass die Druckkraft aber im Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts verbleibt, entsteht infolgedessen am reduzierten Querschnitt A_{eff} ein Versatzmoment nach Gleichung (6.4).

Zu 6.2.2.5(5)

Gemeint ist hier, dass bei Rundhohlprofilen der Querschnittsklasse 4 ein Beulnachweis nach EN 1993-1-6 geführt werden soll. EN 1993-1-6 kann nicht für die Bestimmung wirksamer Querschnittswerte genutzt werden.

Zu 6.2.3(3)

Um im Sinne der Kapazitätsbemessung nach EN 1998-1 sicherzustellen, dass ein Zugstab durch Plastizieren unter großen Verformungen versagt und damit in geeigneter Weise zur Energiedissipation beiträgt, während für die anderen Teile, insbesondere die Anschlüsse, eine ausreichende Festigkeit vorliegt, damit die gewählten Energiedissipationsmechanismen auch eintreten, reicht das Einhalten der Bedingung $N_{\text{pl,Rd}} < N_{\text{u,Rd}}$ nicht. So fordert zum Beispiel EN 1998-1, 6.2(3) zusätzlich für die Streckgrenze einen Maximalwert unter Berücksichtigung eines Überfestigkeitsbeiwerts γ_{OV} anzunehmen.

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, 3.4.1(1) 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, 3.10.3. Ähnliche Regeln gelten auch für Anschlüsse anderer Querschnitte über Schenkel.

6.2.4 Druckbeanspruchung

(1)P 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:

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.10)$$

für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3;

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.11)$$

für Querschnitte der Klasse 4.

(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 ΔM_{Ed} infolge der Verschiebung der Hauptachse des wirksamen Querschnitts, siehe 6.2.2.5(4), zu berücksichtigen.

6.2.5 Biegebeanspruchung

(1)P 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:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.13)$$

für Querschnitte der Klasse 1 oder 2;

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.14)$$

für Querschnitte der Klasse 3;

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (6.15)$$

für Querschnitte der Klasse 4.

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 das 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)P 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.

Zu 6.2.3(4)

Bei den Schraubverbindungen der Kategorie C nach EN 1993-1-8, 3.4.1(1) handelt es sich um schubbeanspruchte Schraubverbindungen mit hochfesten vorgespannten Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9, bei denen im Grenzzustand der Tragfähigkeit kein Gleiten auftreten darf. Für diese Verbindungen ist zusätzlich gefordert, dass unter Zugbeanspruchung im Querschnitt der Bemessungswert des plastischen Widerstands des Nettoquerschnitts im kritischen Schnitt durch die Schraubenlöcher $N_{net,Rd}$ (vgl. Gleichung (6.8)) nicht überschritten werden.

(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: $A - 2b t_f + (t_w + 2r) t_f$ aber mindestens $\eta h_w t_w$
- b) gewalzte Profile mit U-Querschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg: $A - 2b t_f + (t_w + r) t_f$
- c) gewalzte Profile mit T-Querschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg
 - für gewalzte Profile mit T-Querschnitten:

$$A_v = A - b t_f + (t_w + 2r) \frac{t_f}{2}$$

- für geschweißte Profile mit T-Querschnitten:

$$A_v = t_w \left(h - \frac{t_f}{2} \right)$$

- d) geschweißte Profile mit I-, H- und Kastenquerschnitten, Lastrichtung parallel zum Steg:

$$\eta \Sigma (h_w t_w)$$

- e) geschweißte Profile mit I-, H-, U- und Kastenquerschnitten, Lastrichtung parallel zum Flansch:

$$A - \Sigma (h_w t_w)$$

- f) gewalzte Rechteckhohlquerschnitte mit gleichförmiger Blechdicke:

$$\text{Belastung parallel zur Trägerhöhe: } A h / (b + h)$$

$$\text{Belastung parallel zur Trägerbreite: } A b / (b + h)$$

- 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.);

n siehe EN 1993-1-5.

Anmerkung: η 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 τ_{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.

Zu 6.2.6(3) d), 6.2.6(6) und Anmerkung

Im genehmigten Änderungsvorschlag für die Neufassung von EN 1993-1-1 wird die Schubfläche A_v für gewalzte I- und H-Querschnitte, Lastrichtung parallel zu den Flanschen mit $2b t_f$ angegeben.

Nach EN 1993-1-5, 5.1 und 5.2 darf die plastische Grenztragfähigkeit der Querkraft bei Beanspruchung parallel zum Steg von Blechträgern um den Faktor η erhöht werden. Unter Berücksichtigung des deutschen Nationalen Anhangs darf η im Hochbau für Stahlsorten bis S 460 mit 1,20 angenommen werden. Für Stahlsorten höher als S 460 bzw. für den Brückenbau und vergleichbare Anwendungsbereiche ist $\eta = 1,0$.

Der Wert η wurde eingeführt, da festgestellt worden war, dass für gedrungene Bleche die Schubbeanspruchbarkeit den 0,7- bis 0,8-fachen Wert der in Zugversuchen ermittelten Streckgrenze erreichen kann. Diese liegt ca. 20 % über der Schubfließspannung. Die größere Ausnutzbarkeit ist hauptsächlich auf die Stahlverfestigung und eine gewisse Verankerung in den beiden Flanschen zurückzuführen. Diese höhere Ausnutzung kann zugelassen werden, da sie nicht zu übermäßig großen Verformungen führt. Experimentell abgesicherte Werte liegen für Stahlsorten bis S 460 vor, vgl. [K13].

Die Anmerkung in 6.2.6(3) $\eta = 1,0$ auf der sicheren Seite für die Tragfähigkeit anzunehmen, war nur als Vereinfachung gedacht, sollte dem Anwender den Blick in EN 1993-1-5 ersparen. Die gleiche Anmerkung in 6.2.6(6) in Bezug auf das Abgrenzungskriterium in Gleichung (6.22) führt aber zu nicht immer konservativen Schlussfolgerungen. Man sollte also an dieser Stelle besser direkt in EN 1993-1-5 nachsehen. Theoretisch könnte auf der sicheren Seite $\eta = 1,0$ für die Ermittlung der Tragfähigkeit nach 6.2.6(3) und $\eta = 1,2$ für das Abgrenzungskriterium nach 6.2.6(6) eingesetzt werden.

Zu beachten ist dabei auch, dass in EN 1993-1-5 mit h_w die lichte Höhe zwischen den Flanschen bezeichnet wird. Diese Klarstellung fehlt in der Liste der Parameter unter 6.2.6(3).

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

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

Dabei ist

A_{f} die Fläche eines Flansches;

A_{w} die Fläche des Stegbleches: $A_{\text{w}} = h_{\text{w}} t_{\text{w}}$.

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

$$\frac{h_{\text{w}}}{t_{\text{w}}} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (6.22)$$

Für η 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 $V_{\text{pl,Rd}}$ 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:

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

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:

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

Dabei ist

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

$T_{\text{w,Ed}}$ der Bemessungswert des einwirkenden Wölb-torsionsmoments (sekundäres Torsionsmoment).

(3) Die Bemessungswerte $T_{\text{t,Ed}}$ und $T_{\text{w,Ed}}$ können mit den entsprechenden Querschnittswerten, den Zwangsbedingungen 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 $\tau_{\text{t,Ed}}$ infolge St. Venant'scher Torsion $T_{\text{t,Ed}}$;
- einwirkende Normalspannungen $\sigma_{\text{w,Ed}}$ infolge des Bimomentes B_{Ed} und Schubspannungen $\tau_{\text{w,Ed}}$ infolge Wölbkrafttorsion $T_{\text{w,Ed}}$.

(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 Biegemomentenbeanspruchbarkeit 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 Wölb-torsion 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 $V_{\text{pl,Rd}}$ nach 6.2.6(2) auf den Wert $V_{\text{pl,T,Rd}}$ abzumindern. Für den Bemessungswert der einwirkenden Querkraft V_{Ed} muss in jedem Querschnitt folgender Nachweis erfüllt werden:

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

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

- für I- oder H-Querschnitte:

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

Zu 6.2.7

Der Nachweis gemäß Gleichung (6.23) wird in dieser Form als Nachweis der Schnittgrößen so gut wie nie so geführt, er ist auch unvollständig, weil er das Bimoment aus Wölbkrafttorsion nicht aufführt. In der Regel werden Torsionseffekte im Querschnitt aufgrund einer elastischen Schnittgrößenberechnung auf Spannungsebene nachgewiesen, vgl. 6.2.7(5). Hinweise zur Ermittlung der Spannungen aus Torsion sind in verschiedenen Lehrbüchern gegeben, wie z. B. [K47, K48] oder [K49]. Die Vereinfachung gemäß 6.2.7(7) führt zum Teil zu sehr konservativen Ansätzen, ist aber in der Praxis üblich. Bei einem vereinfachten plastischen Nachweis kann Gleichung (6.2) um den Term $B_{\text{Ed}}/B_{\text{Rd}}$ für das Bimoment aus Wölbkrafttorsion ergänzt werden und das Torsionsmoment entsprechend 6.2.7(9) berücksichtigt werden. Hinweise zur genaueren Ermittlung der plastischen Grenztragfähigkeit werden z. B. in [K17] gegeben.

– für U-Querschnitte:

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

– für Hohlprofile:

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

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

Anmerkung: Siehe auch 6.2.10(3).

(4) Bei gleichzeitig wirkender Torsionsbeanspruchung gilt:

$$\rho = \left(\frac{2 V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right)^2$$

siehe 6.2.7. Für $V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,T,Rd}$ 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:

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

aber $M_{y,v,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$

Dabei ist

$M_{y,c,Rd}$ 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) P 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:

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

Zu 6.2.8

Die Interaktion zwischen Querkraft und Biegung wird indirekt über die Abminderung der Steckgrenze (oder Fläche) angegeben, siehe Gleichung (6.29). Ein negativer Wert der Klammer zur Ermittlung von ρ ist zu 0 zu setzen.

Bei der Überarbeitung des Nationalen Anhangs für den neuen Entwurf DIN EN 1993-1-1:2023 [K59] wird die Grenze für die Querkraft, bei der keine Abminderung der Momententragfähigkeit erfolgt, nicht mehr pauschal für alle Querschnitte bei der Hälfte des Bemessungswertes der plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit ($V/V_{pl,Rd} \leq 0,5$) festgesetzt, vgl. dazu [K60]. Lediglich für doppelsymmetrische I-/H-Querschnitte mit ausgeprägten Flanschen bei Biegung um die starke Achse und rechteckige Hohlquerschnitte mit ausgeprägten Flanschen ist eine Interaktion erst für Querkräfte größer als $0,5 V_{pl,Rd}$ wirksam. Ausgeprägte Flansche liegen vor, wenn $A_f/A_w \geq 0,6$. Für kreisförmige oder elliptische Hohlquerschnitte ist ein Querkrafteinfluss bereits ab $0,33 V_{pl,Rd}$ und für alle anderen Fälle ab $0,25 V_{pl,Rd}$ zu berücksichtigen. Die in 6.2.8(3) und 6.2.8(4) genannten Gleichungen für ρ gelten nur für $V/V_{pl,Rd} \leq 0,5$. In den anderen oben genannten Fällen sollte ρ mit nachfolgender Gleichung bestimmt werden:

$$\rho = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2}$$

Zu 6.2.9.1

Basierend auf der technischen Mechanik gibt es für einachsige Biegung mit Normalkraft auch genaue Lösungen, für die für feste Querschnittsabmessungen (z. B. von Walzprofilen) auch Auswertungen vorliegen [K6]. Allgemeine Näherungslösungen liegen für einfachsymmetrische Profile z. B. durch [K30] oder [K50] vor. Vereinfachte Interaktionsgleichungen für doppelsymmetrische I-Querschnitte bietet auch DIN 18800-1 in Tabelle 16 und 17 [K1] an. Gegen die Anwendung der genannten Lösungen bestehen keine Bedenken. Insbesondere für die Gleichung (6.36) wird zurzeit in den europäischen Gremien diskutiert, eine genauere Formulierung als die bisherige zu verwenden.

(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 nicht berücksichtigt zu werden, wenn die beiden folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$N_{\text{Ed}} \leq 0,25 N_{\text{pl,Rd}} \quad (6.33)$$

und

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

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

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

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

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

$$\text{jedoch } M_{\text{N,y,Rd}} \leq M_{\text{pl,y,Rd}} \quad (6.36)$$

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

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

wobei

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

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

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:

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

$$\text{jedoch } M_{\text{N,y,Rd}} \leq M_{\text{pl,y,Rd}} \quad (6.39)$$

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

$$\text{jedoch } M_{\text{N,z,Rd}} \leq M_{\text{pl,z,Rd}} \quad (6.40)$$

wobei

$$a_w = (A - 2 b t) / A$$

$$\text{jedoch } a_w \leq 0,5 \text{ für Hohlquerschnitte;}$$

$$a_w = (A - 2 b t_f) / A$$

$$\text{jedoch } a_w \leq 0,5 \text{ für Kastenquerschnitte;}$$

$$a_f = (A - 2 h t) / A$$

$$\text{jedoch } a_f \leq 0,5 \text{ für Hohlquerschnitte;}$$

$$a_f = (A - 2 h t_w) / A$$

$$\text{jedoch } a_f \leq 0,5 \text{ für Kastenquerschnitte.}$$

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

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

wobei α und β Konstanten sind, die konservativ mit 1 oder wie folgt festgelegt werden können:

– I- und H-Querschnitte:

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

– Runde Hohlquerschnitte:

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

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

– Rechteckige Hohlquerschnitte:

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

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

6.2.9.2 Querschnitte der Klasse 3

(1)P Für Querschnitte der Klasse 3 ohne Querkraftbeanspruchung muss die größte einwirkende Normalspannung folgende Gleichung erfüllen:

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

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

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

Dabei ist $\sigma_{\text{x,Ed}}$ 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.

Zu 6.2.9.1(6)

Auch für zweiachsige Biegung mit Normalkraft liegen weitere Lösungen vor, z. B. DIN 18800-1, Bild 19 [K1, K17]. Im Hochbau darf i. d. R. auf die gleichzeitige Berücksichtigung eines Wölbmoments verzichtet werden [K6], Abschn. 3.5.

Für runde Hohlprofile ist keine Gleichung für $M_{\text{pl,N}}$ angegeben. Sie kann näherungsweise gemäß österreichischem Nationalen Anhang [K32] mit $M_{\text{N,y,Rd}} = M_{\text{N,z,Rd}} = M_{\text{pl,Rd}} (1 - n^{1,7})$ angesetzt werden.

(2) Alternativ zur Gleichung (6.43) kann folgende vereinfachte Gleichung verwendet werden:

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

Dabei ist

- A_{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 reinem Druck beanspruchten Querschnitts, siehe 6.2.2.5(4).

Anmerkung: Die Vorzeichen von N_{Ed} , $M_{y,\text{Ed}}$, $M_{z,\text{Ed}}$ und $\Delta M_i = N_{\text{Ed}} \cdot e_{\text{Ni}}$ 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 $V_{\text{pl,Rd}}$ 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 Querschnitttragfähigkeit, siehe EN 1993-1-5.

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

$$(1 - \rho) f_y \quad (6.45)$$

für die wirksamen Schubflächen zu ermitteln, wobei $\rho = (2 V_{\text{Ed}} / V_{\text{pl,Rd}} - 1)^2$ und $V_{\text{pl,Rd}}$ aus 6.2.6(2) ermittelt wird.

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

NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.2.10(3)

Die Übersetzung des ersten Satzes in 6.2.10(3) in DIN EN 1993-1-1:2010-12 ist folgendermaßen anzupassen:

(3) Falls V_{Ed} die Hälfte von $V_{\text{pl,Rd}}$ überschreitet, ist in der Regel die Tragfähigkeit des Querschnittes für Biegung und Normalkraft mit einer abgeminderten Streckgrenze:

$$(1 - \rho) f_y \quad (6.45)$$

für die Schubfläche zu ermitteln, wobei

$$\rho = (2 V_{\text{Ed}} / V_{\text{pl,Rd}} - 1)^2$$

und $V_{\text{pl,Rd}}$ aus 6.2.6(2) ermittelt wird.

Zu 6.2.9.3(2) und Gleichung (6.44)

Für Querschnitte der Klasse 4 wird die wirksame Querschnittsfläche nach EN 1993-1-5, Abschnitt 4.3 in der Regel unter der Annahme einer reinen Druckkraft ermittelt. Das heißt, bei einem symmetrischen Querschnitt kommt es nicht zu einer Hauptachsenverschiebung. Nur bei unsymmetrischen Querschnitten kann man unter Annahme von konstanter Druckspannung im Querschnitt einen Versatz der Schwerachse e_{N} ermitteln. Da man davon ausgeht, dass die Druckkraft aber im Schwerpunkt des Bruttoquerschnitts verbleibt, entsteht infolgedessen am reduzierten Querschnitt A_{eff} ein Versatzmoment, vgl. auch Gleichung (6.4). Die Bezeichnungen e_{Ny} für einen Versatz in z-Richtung und e_{Nz} für einen Versatz in y-Richtung in Gleichung (6.44) sind leider nicht ganz logisch gewählt. Für die Ermittlung der wirksamen Widerstandsmomente werden die reduzierten Querschnitte nach EN 1993-1-5, Abschnitt 4.3 infolge reiner Biegung durch M_y oder M_z zugrunde gelegt. Gleichung (6.44) ist gegebenenfalls um Anteile aus Wölbkrafttorsion zu erweitern.

Als Querschnittsnachweis darf hier, obwohl es sich eigentlich um einen Beulnachweis handelt, für den Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} verwendet werden, vgl. auch 6.1(1). Dies ist in Übereinstimmung mit EN 1993-1-5. Allerdings legt der Nationale Anhang für EN 1993-2 Stahlbrücken bezüglich der Behandlung von beulgefährdeten Querschnitten der Klasse 4 fest, dass bei Anwendung von γ_{M0} in DIN EN 1993-1-5 ein Wert von 1,1 anzusetzen ist. Dies gilt dann sinngemäß auch für die Anwendung von Gleichung (6.44) für Stahlbrücken und wäre ggf. auf schlanke Querschnitte anderer Anwendungsbereiche wie zum Beispiel bei Kranbahnen zu übertragen.

Zu 6.2.10 und Anmerkung

Bei einer Querkraftausnutzung von über 50 % $V_{\text{pl,Rd}}$ ist zu beachten, dass ein Einfluss auf die Momenten- und Normalkrafttragfähigkeit durch eine Reduktion der Streckgrenze für die wirksamen Schubflächen (A_{steg} z. B.) oder gemäß Anmerkung eine Reduktion der Blechdicke der für die Querkraft maßgebenden Querschnittsteile wie dem Steg zu berücksichtigen ist. Der „Restquerschnitt“ steht dann zur Aufnahme der Biegung und Normalkraft zur Verfügung. So ist mithin ebenfalls bei der Berechnung der Momententragfähigkeit für I- und H-Querschnitte nach 6.2.9.1(5) für die Ermittlung des Faktors a in Gl. (6.36) bis (6.38) die reduzierte Querschnittsfläche A_{red} statt der Bruttofläche A anzusetzen. Dies führt im konkreten Fall zu:

$$A_{\text{red}} = 2 b t_f + (A - 2 b t_f) \cdot (1 - \rho)$$

$$N_{\text{V,Rd}} = A_{\text{red}} \cdot f_{\text{yd}}$$

$$M_{\text{V,y,Rd}} = W_{\text{pl,y,red}} \cdot f_{\text{yd}} \approx \left[W_{\text{pl,y}} - \rho (A - 2 b t_f) \cdot \frac{h_w}{4} \right] \cdot f_{\text{yd}}$$

$$n = N_{\text{Ed}} / N_{\text{V,Rd}}$$

$$a = (A_{\text{red}} - 2 b t_f) / A_{\text{red}}$$

$$M_{\text{N,V,y,Rd}} = M_{\text{V,y,Rd}} \cdot (1 - n) / (1 - 0,5 a)$$

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:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.46)$$

Dabei ist

N_{Ed} der Bemessungswert der einwirkenden Druckkraft;

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

NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.1.1(1)

Für den Nachweis des Biegeknickens darf Gleichung (6.46) auch bei Stäben mit veränderlichen Querschnitten und/oder veränderlichen Normalkräften N_{Ed} angewendet werden. Der Nachweis ist für alle maßgebenden Querschnitte mit den jeweils zugehörigen Querschnittswerten und der zugehörigen Normalkraft N_{cr} an der betreffenden Stelle zu führen.

(2) Bei unsymmetrischen Querschnitten der Klasse 4 ist in der Regel das Zusatzmoment ΔE_{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:

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

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

wobei χ den Abminderungsfaktor für die maßgebende Biegeknickrichtung darstellt.

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

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

Tabelle 6.1. Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien

Knicklinie	a_0	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

6.3.1.2 Knicklinien

(1) Für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe ist der Wert χ 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

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

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

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

α der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie;

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

(2) Der Imperfektionsbeiwert α sollte der Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2 entnommen werden.

(3) Die Werte des Abminderungsfaktors χ 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 $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} < 0,04$ darf der Biegeknicknachweis entfallen, und es sind ausschließlich Querschnittsnachweise zu führen.

6.3.1.3 Schlankheitsgrad für Biegeknicken

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

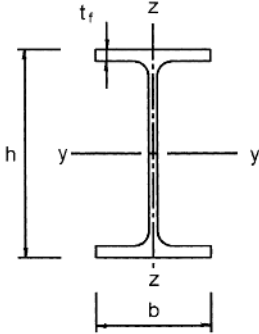
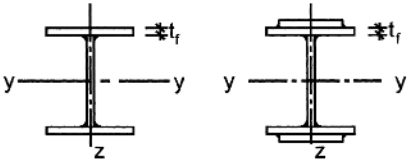

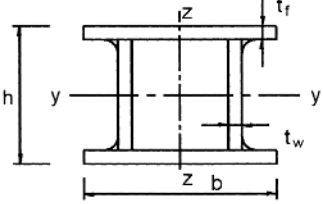
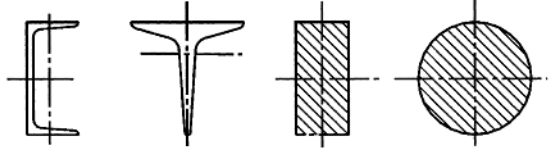
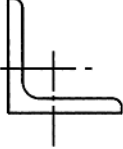
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3;} \quad (6.50)$$

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

Zu NCI zu 6.3.1.1(1) und Anmerkung zu 6.3.1.1(3)

Entsprechend der Erfahrung mit dem Ersatzstabnachweis nach Element (305) in DIN 18800 Teil 2 [K2] wird im Fall von veränderlicher Druckkraft nicht gleich ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung oder nach dem „Allgemeinen Verfahren“ nach 6.3.4 erforderlich, sondern der gewöhnliche Knicknachweis darf für die korrespondierende Knicklast unter veränderlicher Normalkraft geführt werden.

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 ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y z-z	b a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y z-z	b a
		$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y z-z	d 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 ₀
	kaltgefertigte	jede	c	c
Geschweißte Kastenquerschnitte 	allgemein (außer den Fällen der nächsten Zeile)	jede	b	b
	dicke Schweißnähte: $a > 0,5t_f$ $h/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	jede	c	c
U-, T- und Vollquerschnitte 		jede	c	c
L-Querschnitte 		jede	b	b

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;

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

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

Anmerkung B: Zu Biegeknicken im Hochbau siehe Anhang AB.

(2) Die für das Biegeknicken maßgebende Knicklinie ist in der Regel aus Tabelle⁵⁾ 6.2 zu entnehmen.

5) Zuweisung korrigiert: Tabelle 6.2 ist korrekt.

Zu NCI zu 6.3.1.3(2)

Die neue Übersetzung von 6.3.1.3(2) stellt die Verbindlichkeit der Zuordnung der Knicklinie nach Tabelle 6.2 sicher. Der Bezug auf Tabelle 2 ist falsch und durch Tabelle 6.2 zu ersetzen.

Zu 6.3.1.3 und Anmerkung

Für die Ermittlung der Knicklängen stehen in der Literatur vielerlei Hilfsmittel z. B. [K7], DIN 18800-2 Bilder 27 und 29 [2, K2] in NCI Literaturliste und Software zur Verfügung. Zusätzlich enthält der informative Anhang AB im Kapitel AB.1.1 eine vereinfachte Bestimmung von Knicklängen von Fachwerken oder Verbänden im Hochbau.

Zu Tabelle 6.2

Mit kleinen Ausnahmen entspricht die Zuordnung der Knicklinien nach Tabelle 6.2 zu den Querschnitten den Zuordnungen nach DIN 18800-2 [K2]. Allerdings trifft das nicht zu für gewalzte I-Querschnitte aus Stahl der Güte S 460 mit kleinen Flanschdicken ($t_f < 40$ mm für $h/b > 1,2$ und $t_f < 100$ mm für $h/b < 1,2$), wo jeweils für das Knicken um die schwache Achse dieselbe günstige Knicklinie wie um die starke Achse verwendet werden darf,

während normalerweise für das Knicken um die schwache Achse die Zuordnung jeweils ungünstiger ist. Wie in [K44] gezeigt, widerspricht diese Zuordnung älteren Veröffentlichungen zu Versuchen und auch entsprechenden Stichproben von Traglastrechnungen. Um eine konsistente Zuordnung der Knicklinie und ein gleichmäßiges Sicherheitsniveau zu erreichen, wurde im zuständigen europäischen Komitee ein Beschluss [K51] zu einer entsprechenden Anpassung getroffen, die dann auch in den zukünftigen Eurocode eingearbeitet wird. Vom gleichen Gremium wurde aufgrund neuerer Erkenntnisse eine Verbesserung der Zuordnung für gewalzte I-Querschnitte mit dicken Flanschen beschlossen [K54]. Die entsprechenden Zeilen in Tabelle 6.2 sehen dann wie in Tabelle K1 dargestellt aus.

Die Zuordnung der Knicklinien bei Winkeln sieht eigentlich nur gewalzte Profile vor. Tatsächlich werden auch geschweißte Winkel hergestellt. Auch können gewalzte Profile aus S 460 günstiger eingeordnet werden. Im zuständigen europäischen Komitee wurde eine Änderung für den zukünftigen Eurocode beschlossen [K53], die für Winkelprofile Tabelle K2 vorsieht.

Tabelle K1. Zuordnung Knicklinien für gewalzte I-Querschnitte

Querschnitt	Begrenzungen		Ausweichen rechtwinklig zu Achse	Knicklinie	
				S 235, S 275 S 355, S 420	S 460
Gewalzte Querschnitte	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y	a	a ₀
			z-z	b	a
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	y-y	b	a
			z-z	c	b
		$t_f > 100$ mm	y-y	b	a
			z-z	c	b
	$h/b \leq 1,2$	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	y-y	b	a
			z-z	c	b
		$t_f > 100$ mm	y-y	d	c
			z-z	d	c

Tabelle K2. Zuordnung Knicklinien für Winkel

Querschnitt	Begrenzungen	Ausweichen rechtwinklig zu Achse	Knicklinie	
			S 235, S 275 S 355, S 420	S 460
L-Querschnitte	Gewalzte Querschnitte	jede	b	a
	Geschweißte Querschnitte $t_f \leq 40$ mm		c	c

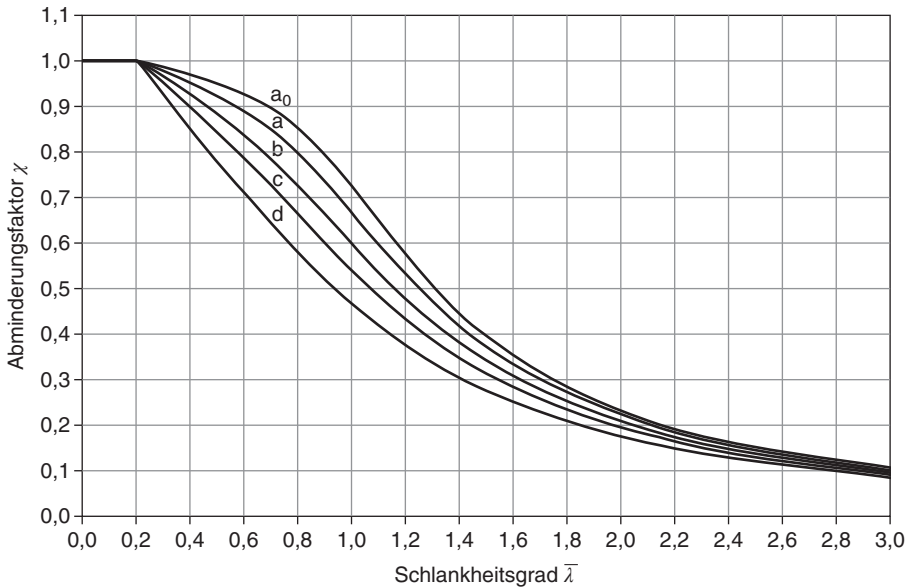


Bild 6.4. Knicklinien

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:

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

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

Dabei ist

$N_{cr} = N_{cr,TF}$ jedoch $N_{cr} < N_{cr,TF}$;

$N_{cr,TF}$ 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:

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

wobei

W_y das maßgebende 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;

χ_{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 II. 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 AB.

Zu 6.3.1.4(1)

Drillknicken oder Biegedrillknicken unter zentrischem Druck tritt nur bei besonderen Querschnitten mit sehr kleinem Wölb- oder Torsionswiderstand auf, wie zum Beispiel dem dünnwandigen Kreuzquerschnitt oder Winkelprofilen mit geringen Schlankheitsgraden. [K6] und [K18] enthalten Hinweise, u. a. auch zu einem Abgrenzungskriterium für gabelgelagerte Einfeldträger mit punkt- bzw. doppelsymmetrischem Querschnitt, das angibt, ab wann Drillknicken unter zentrischem Druck eventuell eintreten kann:

$$\text{polarer Trägheitsradius } i_p^2 = \frac{I_y + I_z}{A} > c^2 = \frac{(I_{\omega} + 0,039 \cdot L^2 \cdot I_T)}{I_z}$$

Der nationale Anhang in Österreich [K32] gibt folgende Regeln zur Berechnung von $\bar{\lambda}_T$ für gabelgelagerte Stäbe mit doppelsymmetrischen Querschnitten und $\bar{\lambda}_{TF}$ für gabelgelagerte Stäbe mit einfachsymmetrischen Querschnitten vor:

- einfachsymmetrische Querschnitte:

$$\bar{\lambda}_{TF} = \bar{\lambda}_z \sqrt{\frac{c^2 + i_0^2}{2c^2} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4c^2 i_p^2}{(c^2 + i_0^2)}} \right)} \quad (\text{K.1})$$

mit:

$$i_p = \sqrt{y^2 + z^2} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \quad \bar{\lambda}_z = \frac{l_z}{i_z \lambda_1}$$

$$i_0 = \sqrt{z_0^2 + z_0^2} \quad c = \sqrt{\frac{I_{\omega}}{I_z} + 0,039 \frac{l_T^2}{I_z}}$$

z_0 Abstand zwischen Schwerpunkt und Schubmittelpunkt

l_T Knicklänge für Biegedrillknicken

I_{ω} Wölbwiderstand

I_t Torsionswiderstand

- doppelsymmetrische Querschnitte:

$$\bar{\lambda}_T = \bar{\lambda}_z \left(\frac{i_p}{c} \right) \quad \text{oder} \quad \bar{\lambda}_z \quad (\text{K.2})$$

Für die häufig auftretenden Fälle von L-förmigen und T-förmigen Querschnitten darf nach [K32], falls kein genauerer Nachweis geführt wird, folgende Regel zur Bestimmung von $\bar{\lambda}_{TF}$ verwendet werden:

- L-förmige Querschnitte: wenn $\bar{\lambda}_v \leq 5,3(h/t)$ wird $\bar{\lambda}_{TF}$ maßgebend: $\bar{\lambda}_{TF} = 5,3(h/t)\bar{\lambda}_v$ stellt die Stabschlankheit um die Achse v-v dar
- T-förmige Querschnitte: wenn $\bar{\lambda}_v \leq 6,5(h/t)$ wird $\bar{\lambda}_{TF}$ maßgebend: der Nachweis ist wie für einfachsymmetrische Querschnitte mit $I_{\omega} = 0$ zu führen.

Zu 6.3.2

Für den Nachweis gegen Biegedrillknicken bei reiner Biegung enthält die Norm drei unterschiedliche Nachweismöglichkeiten am Ersatzstab: nach 6.3.2.1 als Abminderung der Momentenbeanspruchbarkeit mit χ_{LT} in Abhängigkeit von einer bezogenen

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

Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT}$, die sich auf das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} bezieht, nach 6.3.2.4 als Knicknachweis des Druckgurtes und nach 6.3.4 als Abminderung der Systemtragfähigkeit in Abhängigkeit von einem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{op}$, der vom Vergrößerungsfaktor des ideal elastischen kritischen Verzweigungszustandes des Systems $\alpha_{cr,op}$ abhängt. Die drei Verfahren stellen Alternativen dar, die nicht immer zum gleichen Ergebnis führen, da sie unterschiedliche Vereinfachungen enthalten, die je nach vorliegender Situation mehr oder weniger konservativ sind.

Zu 6.3.2.1(1)

In $M_{b,Rd}$ geht bei einem Klasse-1-Querschnitt das vollplastische Moment $M_{pl,Rd}$ ein, vgl. Gleichung (6.55) und Erläuterungen. Zu beachten ist, dass hier keine Abminderung der Biegemomenten-tragfähigkeit durch ggf. vorhandene Querkkräfte V erfolgt, siehe auch [K44]. Der Effekt der gleichzeitigen Wirkung von Biegemoment und Querkraft wird durch den stets zusätzlich zu führenden Querschnittsnachweis erfasst, vgl. 6.3.3(2).

Zu 6.3.2.1(2) und Anmerkung 2B

Wenn durch die Wahl eines torsionssteifen Querschnitts oder durch eine Stützung des Druckgurtes verhindert ist, dass der Träger seitlich unter Verdrehung aus seiner Haupttragebene ausweicht, tritt auch kein Biegedrillknickenversagen auf und braucht ein entsprechender Nachweis nicht geführt zu werden.

Stäbe mit Hohlquerschnitten (gewalzt oder geschweißt) weisen in der Regel eine so große St. Venant'sche Torsionssteifigkeit I_T auf, dass keine Stabverdrehung auftritt und damit kein Biegedrillknicken möglich ist. Das bezieht sich auf übliche gewalzte Profile oder gleichartige geschweißte Querschnitte. Für sehr schlanke geschweißte Hohlquerschnitte, mit großen h/b -Verhältnissen ($h/b > 3$, entsprechend Untersuchungen von [K61]), kann in bestimmten Fällen dennoch ein Biegedrillknickenversagen maßgebend werden. Ebenso gibt es bei dünnwandigen kaltgeformten Profilen, die in den Bereich von EN 1993-1-3 fallen, hohe sehr schlanke geschlossene Sonderprofile, deren Torsionssteifigkeit trotzdem relativ klein ist, sodass die Empfindlichkeit gegenüber Biegedrillknicken ggf. zu überprüfen ist, siehe auch [K44]. Der Anhang BB.2 „Kontinuierliche seitliche Stützungen“ enthält zu DIN 18800-2 [K2], Abs. 3.3.2 analoge Regeln. In der bisherigen Praxis konnte mithilfe der Regelung aus DIN 18807-3:1987-06 [K26], in der Regel auf einen aufwendigen Stabilitätsnachweis für Dachpfetten im Hallenbau verzichtet werden. Diese Regelung besagt, dass stählerne Träger mit I-förmigem Querschnitt bis 200 mm Höhe als durch die Profiltafeln hinreichend ausgesteift gelten, wenn diese mit dem gedrückten Gurt verbunden sind. Diese Regelung kann sicher auch für eine Tragwerksberechnung nach EN 1993-1-1 als weiterhin gültig angenommen 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 χ_{LT} mit dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie in der Regel nach folgender Gleichung zu ermitteln:

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

Dabei ist

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

α_{LT} der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,fy}}{M_{cr}}}$$

M_{cr} das ideale 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 α_{LT} festlegen. Die empfohlenen Werte von α_{LT} sind Tabelle 6.3 zu entnehmen.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.2(2) Anmerkung 1

Es gilt die Empfehlung, einschließlich der Tabellen 6.3 und 6.4. Der in DIN EN 1993-1-1:2010-12, 6.3.2.3(2) angegebene Faktor f darf auch zur Modifizierung von χ_{LT} nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, 6.3.2.2(1) angewendet werden.

Anstelle der Beiwerte α_{LT} dürfen alternativ die folgenden Imperfektionsbeiwerte α_{LT}^* in Gleichung (6.56) verwendet werden:

$$\alpha_{LT}^* = \frac{\alpha_{crit}^*}{\alpha_{crit}} a \quad (NA.3)$$

Dabei ist

α der Imperfektionsbeiwert für Ausweichen rechtwinklig zur z - z -Achse nach Tabelle 6.2;

α_{crit}^* der kleinste Vergrößerungsfaktor für die Bemessungswerte der Belastung, mit dem die ideale Verzweigungslast mit Verformungen aus der Haupttragwerksebene erreicht und die Torsionssteifigkeit vernachlässigt wird;

α_{crit} der kleinste Vergrößerungsfaktor für die Bemessungswerte der Belastung, mit dem die ideale Verzweigungslast mit Verformungen aus der Haupttragwerksebene erreicht und die Torsionssteifigkeit vernachlässigt wird;

α_{LT} Imperfektionsbeiwert für Biegedrillknicken nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 6.3.

Die empfohlene Zuordnung ist Tabelle 6.4 zu entnehmen.

(3) Der Wert des Abminderungsfaktors χ_{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.

Zu 6.3.2.2

Für den sogenannten „Allgemeinen Fall“ ist im Unterschied zum Fall von Walzprofilen und gleichartigen geschweißten Querschnitten (mit günstigeren Regeln gemäß 6.3.2.3) der Abminderungsfaktor der Momentenbeanspruchbarkeit χ_{LT} in Abhängigkeit von einer bezogenen Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT}$ analog zu den Knicklinien von Druckstäben (vgl. 6.3.1.2) nach Tabelle 6.3 zu wählen. Maßgebend für die Auswahl der Linien ist aber im Unterschied zum Knicken der Druckstäbe neben der Herstellungsart (gewalzt/geschweißt) das Verhältnis von Höhe zu Breite der Profile entsprechend der Zuordnung in Tabelle 6.4. Der „Allgemeine Fall“ erfasst im Unterschied zum Fall von Walzprofilen und gleichartigen geschweißten Querschnitten nach 6.3.2.3 höhe Träger mit schmalen Gurten, bei denen das Biegedrillknicken im Wesentlichen wie das seitliche Biegeknicken des gedrückten Gurtes erfolgt.

Zu 6.3.2.2(2)

Für die Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes M_{cr} wird auf Software bzw. auf einschlägige Literatur [K7, K21] verwiesen. Auch DIN 18800-2 [K2] enthält mit Gleichung (19) und Tabelle 10 eine vereinfachte Berechnungsmöglichkeit für gleichbleibenden doppelsymmetrischen Querschnitt. Auch in der Vornorm DIN V ENV 1993-1-1:1993-04 [K45] waren im informativen Anhang F noch Angaben zur Ermittlung von M_{cr} enthalten. Nachträglich hat sich dann aber herausgestellt, dass die Angaben zum Teil fehlerhaft waren, sodass die dort angegebenen Werte nicht verwendet werden sollten. Hinweise hierzu und auch zur Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen bei der Ermittlung von M_{cr} sind in [K44] gegeben.

Zu NDP zu 6.3.2.2(2) Anmerkung 1

Der Nationale Anhang enthält an dieser Stelle zwei voneinander unabhängige, völlig unterschiedliche Hinweise.

a) Für χ_{LT} nach 6.3.2.2(1), Gleichung (6.56) gemäß Tabelle 6.3 und Tabelle 6.4 wird auch eine Abminderung gemäß Gleichung (6.58) durch die Division mit f in Abhängigkeit von der Form der Momentenfläche gestattet. Hierdurch wird berücksichtigt, dass bei Trägern mit vom konstanten Verlauf abweichenden Momentenverteilungen sonst sehr konservative Ergebnisse erzielt werden, siehe [K11].

b) Es wird eine alternative Bestimmung des Abminderungsfaktors χ_{LT} zugelassen, die α_{LT}^* in Gleichung (6.56) einführt, einen Faktor, der sich aus dem „Allgemeinen Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise“ gemäß 6.3.4 herleitet, vgl. [K19].

Tabelle 6.3. Empfohlene Imperfektionsbeiwerte der Knicklinien für das Biegedrillknicken

Knicklinie	a	b	c	d
Imperfektionsbeiwert α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

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	$h/b \geq 2$	c
	$h/b > 2$	d
andere Querschnitte	–	d

6.3.2.3 Biegedrillknicklinien gewalzter Querschnitte oder gleichartiger geschweißter Querschnitte

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

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

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

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

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

$\beta = 0,75$ (Mindestwert).

Die empfohlene Zuordnung ist der Tabelle 6.5 zu entnehmen.

NDP DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.3(1) Anmerkung

Es gilt die Empfehlung, einschließlich Tabelle 6.5.

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 χ_{LT} wie folgt modifiziert werden:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{jedoch} \quad \begin{cases} \chi_{LT,mod} \leq 1 \\ \chi_{LT,mod} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases} \quad (6.58)$$

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

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

Dabei ist k_c ein Korrekturbeiwert nach Tabelle 6.6.

NDP DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.3(2) Anmerkung

Es gilt die Empfehlung, einschließlich Tabelle 6.6.


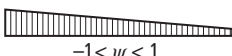
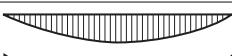


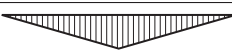


Zu 6.3.2.3

Für gewalzte und gleichartige geschweißte Querschnitte dürfen gegenüber dem allgemeinen Fall nach 6.3.2.2 in Abhängigkeit von einer bezogenen Schlankheit $\bar{\lambda}_{LT}$ vorteilhaftere Abminderungsfaktoren der Momentenbeanspruchbarkeit χ_{LT} gemäß Gleichung (6.57) genutzt werden. Die Zuordnung von α_{LT} gemäß Tabelle 6.3 erfolgt nach Tabelle 6.5. Die günstige Wirkung der Beziehung, vgl. [K11], beruht u. a. auf der Verlängerung des Plateaus für $\chi_{LT} = 1,0$ von $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,2$ auf $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$. Für Schlankheiten kleiner als 0,4 ist also kein Biegedrillknicknachweis erforderlich. Diese Regel entspricht dem Grenzwert nach DIN 18800 Teil 2, [K2], Abschnitt 3.3.4 Element (311), der in der Praxis zu einer Reihe von Anwendungsregeln geführt hat [K18], vgl. auch 6.3.2.1(2) und Anhang AB, die einen expliziten Biegedrillknicknachweis überflüssig machen. Allerdings setzt diese günstigere Regel seitliche Abstützungen in Form von Gabellagerungen voraus, vgl. Anmerkungen dazu in [K55]. Neu ist darüber hinaus die Möglichkeit, nach Gleichung (6.58) den Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Form der Momentenfläche mit f noch zusätzlich zu reduzieren. Neben der Möglichkeit eine gegenüber dem konstanten Moment günstigere Momentenfläche bei der Ermittlung des idealen Biegedrillknickmomentes M_{cr} für $\bar{\lambda}_{LT}$ anzusetzen, wird so ein zusätzlich günstiger Effekt bei der Tragwirkung selber erfasst. Es sei darauf hingewiesen, dass die empfohlenen Korrekturbeiwerte k_c für betragsmäßig gleich große Stütz- und Feldmomente hergeleitet wurden. Für andere Verteilungen darf dieser nach Gl. (NA.4) berechnet werden.

Für die Ermittlung der Biegedrillknickmomente wird auf Software bzw. auf einschlägige Literatur [K18, K23] verwiesen.

In [K22] sind Angaben zur Übertragung des Nachweisverfahrens auf einfachsymmetrische Querschnitte gemacht, die den Regelungen in [K32] zugrunde liegen. Diese sind für den Fall Druck und Biegung um die starke Achse bei einfachsymmetrischen I-, H-Querschnitten und rechteckigen Hohlprofilen in den Hinweisen zu 6.3.3 angegeben. [K23] vergleicht die verschiedenen Verfahren zum Biegeknicken und Biegedrillknicken, erläutert Hintergründe zur Herleitung und zeigt Wege zur Weiterentwicklung auf.

Tabelle 6.6. Empfohlene Korrekturbeiwerte k_c

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

NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.3(2) Tabelle 6.6

Der Korrekturbeiwert k_c darf auch nach Gleichung (NA.4) bestimmt werden.

$$k_c = \sqrt{\frac{1}{C_1}} \quad (\text{NA.4})$$

mit C_1 Momentenbeiwert für das Biegedrillknicken, z. B. nach [2] oder [3]

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 zwi-

schen 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;

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

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

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

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

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.

Zu 6.3.2.4

Der Nachweis des Biegedrillknickens wird hier als Nachweis des Knickens des Druckgurtes geführt. Dieses vereinfachte Modell berücksichtigt jedoch keine Abtriebskräfte infolge eines ungünstigen Lastangriffspunkts oberhalb des Schubmittelpunkts. Somit beschränkt sich die Anwendung des vereinfachten Druckgurverfahrens auf Fälle ohne zusätzliche destabilisierende Momente. Die Vorgehensweise entspricht DIN 18800 Teil 2 [K2], Abschnitt 3.3.3 Element (310), indem zuerst nach Gleichung (6.59) ein Mindestabstand der seitlichen Stützung des Druckgurtes nachgewiesen werden kann und dann, wenn dieser Nachweis nicht erfolgreich ist, nach Gleichung (6.60) ein Knicknachweis geführt wird. Im Unterschied zu DIN 18800 Teil 2 wird hier der Gurtquerschnitt nicht um 1/5, sondern um 1/3 des Stegquerschnitts erhöht. Damit wird berücksichtigt, dass sich bei Spannungsgradienten im Steg, die über die gesamte Steghöhe Druckspannungen sind (z. B. bei Verbundträgern unter negativem Biegemoment) höhere Abtriebskräfte einstellen als bei typischen doppelsymmetrischen Querschnitten unter reiner Biegung.

Diese Nachweisform ist nach EN 1993-1-1 entsprechend der Kennzeichnung B nur im Hochbau zulässig. Im Brückenbau wird aber in EN 1993-2 mit 6.3.4.2 „Vereinfachtes Verfahren“ der gleiche Nachweis zugelassen, mit dem Unterschied, dass in Gleichung (6.59) für $\bar{\lambda}_{c0} = 0,2$ statt 0,5 und für k_{fe} in Gleichung (6.60) 1,0 statt 1,1 zu wählen ist, was einer äußerst konservativen Regelung gleichkommt.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.4(1)B Anmerkung 2B
Es gilt die Empfehlung.

(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:

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

Dabei ist

χ der mit $\bar{\lambda}_f$ ermittelte Abminderungsfaktor des äquivalenten druckbeanspruchten Flansches;
 k_{fe} der Anpassungsfaktor, mit dem konservativen Nachweis mit äquivalenten druckbeanspruchten Flanschen Rechnung getragen wird.

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

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.2.4(2)B Anmerkung B
Es gilt die Empfehlung.

(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.

Zu 6.3.2.4(3)B

Für geschweißte Querschnitte ist dieses vereinfachte Verfahren nur zulässig, wenn die Voraussetzung $h/t_f \leq 44 \varepsilon$ eingehalten ist. Geschweißte Querschnitte, die diese Voraussetzung nicht erfüllen, dürfen mit diesem vereinfachten Modell nicht nachgewiesen werden. Mit dem Satz, dass Knickspannungslinie c für alle anderen Querschnitte zu verwenden ist, sind demnach die übrigen I-förmigen Walzquerschnitte gemeint. Hintergründe dazu lassen sich in [K58] wiederfinden.

Zu 6.3.3

Für Stäbe unter Druck und Biegung wird mit den Gleichungen (6.61) und (6.62) ein Doppelnachweis am aus dem System herausgeschnittenen Ersatzstab in allgemeiner Form gefordert, bei dem im Unterschied zu DIN 18800 Teil 2 [K2] Biegeknicken und Biegedrillknicken in einem gemeinsamen Nachweisformat behandelt werden und der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken χ_{lf} auch in der Nachweisgleichung (6.61) für Biegeknicken um die starke Achse zu berücksichtigen ist. Die Interaktionsfaktoren k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} und k_{zz} können wahlweise nach dem Alternativverfahren 1 in Anhang A oder dem Alternativverfahren 2 in Anhang B bestimmt werden. Die Hintergründe zu beiden Verfahren sind vom Technischen Komitee 8 der ECCS in der Dokumentation Nr. 119 [2] in der NCI Literaturliste erläutert worden. Während das Alternativverfahren 1 nur mithilfe eines Datenverarbeitungsprogramms sinnvoll zu verwenden ist, wurde das Alternativverfahren 2 im Anhang B aus deutsch/österreichischer Tradition heraus als auch noch für die Handrechnung geeignetes Verfahren entwickelt. Die Verfahren wurden am gabelgelagerten Einfeldträger für doppelsymmetrische Querschnitte hergeleitet. Die jeweiligen Stabendmomente müssen deshalb die Systemeinflüsse wie Effekte aus Theorie II. Ordnung und globale Imperfektionen – vorrangig Schiefstellungen – enthalten, vgl. auch Hinweise zu 5.2.2(7). Bei unterschiedlichen Halterungen in und aus der Ebene, das heißt unterschiedlichen Systemen, ist deshalb auch Methode b1) zu empfehlen, bei der alle Effekte nach Theorie II. Ordnung und aus Imperfektionen in der Ebene bei der Ermittlung der Schnittgrößen im Gesamtsystem komplett erfasst werden. Dann kann für das Alternativverfahren 2 auf die Anwendung von Gleichung (6.61) (Nachweis in der Ebene) verzichtet werden und mit Gleichung (6.62) lediglich der Nachweis aus der Ebene einschließlich Biegedrillknicken erfolgen. Andernfalls sind für beide Nachweisgleichungen getrennt die jeweiligen Stabendmomente nach Theorie II. Ordnung unter globalen Imperfektionen zu bestimmen.

Zwischenabstützungen gegen seitliches Ausweichen erfordern eine Abstützung beider Gurte des Profils oder eine Abstützung des einen Gurtes und zusätzliche Verdrehbehinderung des Querschnitts. [K6], [K11], [K29] und [K32] enthalten Angaben auch zu vereinfachten Formulierungen für typische Einzelfälle wie Druck und einachsige Biegung und für den Fall verdrehsteifer Bauteile, wenn Biegedrillknicken keine Rolle spielt, vgl. auch Hinweise zu 6.3.2.1(2). Im Folgenden werden die vereinfachten Formulierungen aus [K32] dargestellt.

Für verdrehsteife Stäbe lautet der Biegeknicknachweis:

$$\text{Biegeknicken um } y-y: \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_y \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (K.3)$$

$$\text{Biegekicken um } z-z: \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + \alpha k_y \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{K.4})$$

Für I-, H- und RHS-Querschnitte gilt vereinfacht:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{K.5})$$

Die Beiwerte bestimmen sich zu:

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) n_y \leq 1 + 0,8 n_y, \quad \alpha = 0,6$$

für Klassen 1 und 2

$$k_y = 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y n_y \leq 1 + 0,6 n_y, \quad \alpha = 0,8$$

für Klassen 3 und 4

$$n_y = \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}, C_{my} = 0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$$

Für verdrehweiche Stäbe lautet der Biegedrillknicknachweis:

$$\text{Biegedrillknicken um } y-y: \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rd}} + k_y \frac{C_{my} M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{K.6})$$

$$\text{Biegekicken um } z-z: \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (\text{K.7})$$

Der Beiwert k_y bestimmt sich nach den obigen Gleichungen. Die anderen Beiwerte bestimmen sich zu:

$$k_{LT} = 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z n_z}{C_{MLT} - 0,25} \geq 1 - \frac{0,1 n_z}{C_{MLT} - 0,25}$$

für Klassen 1 und 2 (für $\bar{\lambda}_z < 0,4$)

$$k_{LT} = 1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z n_z}{C_{MLT} - 0,25} \geq 1 - \frac{0,05 n_z}{C_{MLT} - 0,25}$$

für Klassen 3 und 4

$$n_z = \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}}, C_{MLT} = 0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$$

Für einachsensymmetrische I-, H-Querschnitte und rechteckige Hohlprofile sind in [K32] für den Fall Druck und einachsige Biegung um die starke Achse (Moment M_y) zusätzliche Regelungen angegeben, die eine Anwendung des Alternativverfahrens 2 auch für diesen Fall erlauben und im Folgenden wiedergegeben werden.

Dabei werden die Berechnungsformeln für den Standardfall eines zur z-Achse symmetrischen Querschnitts unter Druck und einachsiger Biegung $M_{y,Ed}$ angegeben. Es sind in dem Fall positive und negative Werte für $M_{y,Ed}$ zu unterscheiden. Laut Definition

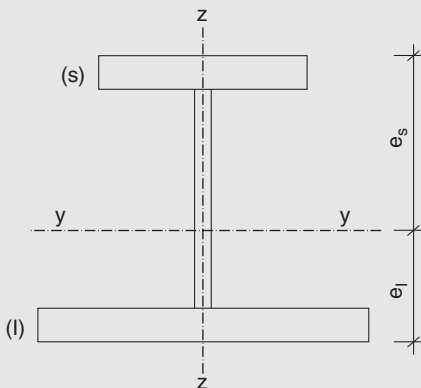


Bild K2. Querschnittsdefinitionen eines einachsensymmetrischen Querschnitts [K32]

bewirkt ein positives Moment Druck am kleineren Gurt des Querschnitts. Die Biegebeanspruchbarkeiten $M_{y,Rd}$ und die Biegedrillknickschlankheiten $\bar{\lambda}_{LT}$ bzw. die zugehörigen Abminderungsfaktoren χ_{LT} sind bei Querschnitten der Klassen 3 und 4 auf den jeweils maßgebenden kleineren oder größeren Gurt des Querschnitts zu beziehen, vgl. Bild K2.

Es gilt:

$$M_{y,Rd(s)} = W_{y(s)} \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad M_{y,Rd(\ell)} = W_{y(\ell)} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT(s)} = \sqrt{\frac{W_{y(s)} f_y}{M_{cr(s)}}} \chi_{LT(s)} \quad \bar{\lambda}_{LT(\ell)} = \sqrt{\frac{W_{y(\ell)} f_y}{M_{cr(\ell)}}} \chi_{LT(\ell)}$$

mit

$W_{y(s)}$ Widerstandsmoment, bezogen auf den kleineren Gurt (s)

$W_{y(\ell)}$ Widerstandsmoment, bezogen auf den größeren Gurt (ℓ)

$M_{cr(s)}$ Biegedrillknickmoment für positives Moment M_y

$M_{cr(\ell)}$ Biegedrillknickmoment für negatives Moment M_y

Für verdrehsteife Stäbe gelten folgende Änderungen für die Beiwerte:

$$\text{Klassen 1 und 2: } k_y = 1 + 2 (\bar{\lambda}_y - 0,2) n_y \leq 1 + 1,6 n_y \quad \alpha = 0,6$$

$$\text{Klassen 3 und 4: } k_y = 1 + \bar{\lambda}_y n_y \leq 1 + n_y \quad \alpha = 0,8$$

Dabei ist in die Bemessungsformeln für $M_{y,Ed}$ der Absolutwert einzusetzen. Für Querschnitte der Klassen 3 und 4 ist $M_{y,Rd}$ für den unter $M_{y,Ed}$ gedrückten Rand zu bestimmen. Wird bei Querschnitten der Klassen 3 und 4 für negative Werte von $M_{y,Ed}$ die Zugspannung im kleineren Gurt maßgebend, sind folgende Gleichungen mit $M_{y,Ed}$ als Absolutwert zu erfüllen:

$$\text{für } \bar{\lambda}_y \leq 1 \quad \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \left(\frac{1}{\chi_y} - 2 + \bar{\lambda}_y \right) + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd(s)}} \leq 1 \quad (\text{K.8})$$

$$\text{für } \bar{\lambda}_y > 1 \quad \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \left(\frac{1}{\chi_y} - 1,5 + 0,5 \bar{\lambda}_y \right) + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd(s)}} \leq 1 \quad (\text{K.9})$$

Für verdrehweiche Stäbe ist der oben aufgeführte Biegedrillknicknachweis um die y-y-Achse zu erfüllen. Dabei ist für $M_{y,Ed}$ der Absolutwert einzusetzen. χ_{LT} ist für die Momentenrichtung von $M_{y,Ed}$ zu bestimmen und bei Querschnitten der Klassen 3 und 4 ist $M_{y,Rd}$ für den unter $M_{y,Ed}$ gedrückten Rand zu bestimmen. Die Nachweise für Biegedrillknicken um die z-z-Achse lauten:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{TF} N_{Rd}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT(s)} M_{y,Rd(s)}} \leq 1,0 \quad (\text{K.10})$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rd}} + k_{LT} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT(s)} M_{y,Rd(\ell)}} \leq 1,0 \quad (\text{K.11})$$

Dabei ist $M_{y,Ed}$ vorzeichengerecht einzusetzen. Falls bei Querschnitten der Klassen 3 und 4 für negative Werte von $M_{y,Ed}$ die Zugspannung im kleineren Gurt maßgebend wird, sind die Gleichungen K.8 und K.9 zu erfüllen [K32]. Die Hintergründe dieser erweiterten Regeln auf einachsensymmetrische Querschnitte sind in [K35] beschrieben.

Spezielle Regelungen bei der Interaktion von Normalkraft und Biegung für kaltgeformte Querschnitte sind in DIN EN 1993-1-3 [K57] enthalten.

Planmäßige Torsion ist in den Gleichungen (6.61) und (6.62) nicht berücksichtigt. Der Anhang A von EN 1993-6 enthält hierzu ein Verfahren, das das Alternativverfahren 2 entsprechend ergänzt, vgl. auch [K44].

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 1: Die Interaktionsformeln basieren auf dem Modell eines gabelgelagerten Einfeldträgers, mit oder ohne seitliche Zwischenstützung, der durch Druckkräfte, Randmomente und/oder Querbelastrungen 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 II. Ordnung auf ein seitenverschiebliches Tragwerk (P- Δ -Effekte) wird entweder durch die vergrößerten Randmomente des einzelnen herausgeschnittenen Bauteils oder durch geeignete Knicklängenbestimmung berücksichtigt, siehe 5.2.2(3c) und 5.2.2(8).

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

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

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

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;

χ_y und χ_z die Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken nach 6.3.1;

χ_{LT} die Abminderungsbeiwert für Biegedrillknicken nach 6.3.2;

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

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.3(5) Anmerkung 2

Es dürfen die Interaktionsfaktoren sowohl nach dem Alternativverfahren 1 (DIN EN 1993-1-1:2010-12, Anhang A) als auch nach dem Alternativverfahren 2 (DIN EN 1993-1-1:2010-12, Anhang B) verwendet werden.

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.

Zu 6.3.4

Das „Allgemeine Verfahren für Knick- und Biegedrillknicknachweise für Bauteile“ eignet sich für den Stabilitätsnachweis von Bauteilen und Rahmen aus der Haupttragebene heraus, für die es zum Beispiel durch entsprechende FE-Programme möglich ist, eine Systemschlankheit auf der Basis eines ideal elastischen Verzweigungszustands zu bestimmen, unabhängig davon, ob es sich um Biegeknicken, Biegedrillknicken unter reiner Biegung oder einen Mischzustand handelt. Erläuterungen zu den Hintergründen und möglichen Weiterentwicklungen enthalten [K19] und [K20]. Durch den Nationalen Anhang ist die Anwendung auf Querschnitte aus I-Profilen und einachsige Biegung in Tragwerksebene mit Druckkraft beschränkt, da sich für andere Fälle auch unsichere Ergebnisse ergaben. Wichtig ist, dass der Nationale Anhang die Interpolation des Abminderungswertes zwischen den Werten für Biegeknicken und Biegedrillknicken (Option b) nach 6.3.4(4) nicht zulässt.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 6.3.4(1) Anmerkung

Das Verfahren gilt für Bauteile und Tragwerke die auf Biegung in Tragwerksebene und/oder Druck beansprucht werden. Als Querschnitte sind nur I-Profile zugelassen. Bei der Bestimmung von $\alpha_{ult,k}$ ist der zur Bildung des ersten Fließgelenkes gehörende Wert zu verwenden.^{NA.2} Die Wahl der Knicklinie geht aus Tabelle NA.4 hervor.

Tabelle NA.4. Wahl der Knicklinie

Knicken ohne Biegedrillknicken	Zuordnung der entsprechenden Knicklinie nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 6.2
Biegedrillknicken	Zuordnung der entsprechenden Knicklinie für das Biegedrillknicken nach DIN EN 1993-1-1:2010-12, Tabelle 6.4

Der Wert χ nach 6.3.1 ist für χ_{op} dann zu verwenden, wenn die Beanspruchung ausschließlich aus Normalkräften besteht, der Wert χ_{LT} nach 6.3.2.2 ist für χ_{op} zu verwenden, wenn die Beanspruchung ausschließlich aus Biegemomenten besteht. Bei gemischter Beanspruchung ist der kleinere der beiden Werte χ oder χ_{LT} für χ_{op} zu verwenden.

NA.2 Für Tragwerke mit voutenförmigen Bauteilen ist die ideale Verzweigungslast für die vorhandene Geometrie zu ermitteln. Dies kann mit adäquaten numerischen Methoden erfolgen (z. B. FEM-Modellierung mit Schalenelementen). Eine Abstufung mit Stabelementen führt in der Regel nicht zu richtigen Ergebnissen.

(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 II. Ordnung in der Tragwerksebene berücksichtigt. In der Regel wird $\alpha_{ult,k}$ durch den Querschnittsnachweis am ungünstigsten Querschnitt des Tragwerks oder Teiltragwerks bestimmt;

χ_{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 Finiten Elementen ermittelt werden.

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

a) als kleinster Wert aus den Größen:

χ für Knicken nach 6.3.1;

χ_{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:

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

b) als Wert, der zwischen χ und χ_{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:

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

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).

(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

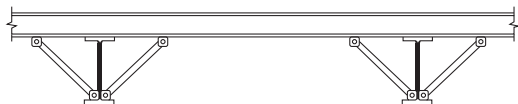
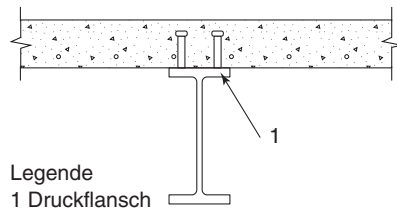


Bild 6.5. Beispiel für eine Verdrehungsbehinderung



Legende

1 Druckflansch

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

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 Ersatzzlasten Q_m , welche an den jeweiligen zu stabilisierenden Bauteilen an den Stellen der Fließgelenke angreifen, ausreicht:

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

Zu 6.3.5.1

Die Regelungen in diesem Abschnitt beruhen auf einer Tradition in England, Rahmentragwerke plastisch, also unter Ausnutzung der Schnittgrößenumlagerung aufgrund des nichtlinearen Werkstoffverhaltens, zu bemessen, vgl. Abschnitt 5.4.3. In Deutschland ist es bisher eher üblich nur bis zur Ausbildung des ersten Fließgelenkes zu gehen (Verfahren elastisch-plastisch nach DIN 18800 Teil 2 [K2]), dann müssen die Bedingungen nach 6.3.5.2 und 6.3.5.3 nicht erfüllt werden, weil in diesem Fall keine besondere Rotationsanforderung an das Fließgelenk besteht.

Auf eine Stützung der Fließgelenkstelle gemäß 6.3.5.2 kann auch verzichtet werden, wenn es sich um das letzte sich ausbildende Fließgelenk einer Fließgelenkkette handelt, bei dessen Ausbildung der Grenzzustand der Tragfähigkeit eintritt, also von dem keine zusätzliche plastische Rotation mehr gefordert wird.

Erläuterungen zur Anwendung des Verfahrens mit Beispielrechnungen sind in [K24] und [K25] zu finden.

Zu 6.3.5.2(4)

Die Übersetzung „... sollte diese *mindestens* in einem Abstand von $h/2$ vom Fließgelenk angeordnet werden, ...“ ist nicht korrekt. Es muss auch nach dem englischen Normtext „... sollte diese *höchstens* in einem Abstand von $h/2$ vom Fließgelenk angeordnet werden, ...“ heißen.

Dabei ist

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

α_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 $\frac{h}{t_f} \leq 40 \epsilon$ unter linearer Momentenbelastung, ohne erhebliche Druckbelastung, darf der Größtabstand zwischen seitlichen Stützungen wie folgt ermittelt werden:

$$L_{stable} = 35 \epsilon i_z \quad \text{für} \quad 0,625 \leq \psi \leq 1 \quad (6.68)$$

$$L_{stable} = (60 - 40 \psi) \epsilon i_z \quad \text{für} \quad -1 \leq \psi \leq 0,625$$

Dabei ist

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y [\text{N/mm}^2]}};$$

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

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 angewouteten 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.

(5) Die Nachweise für die Gurtstäbe sind in der Regel mit der Gurtstabskraft $N_{ch,Ed}$ 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 Gurtstabskraft $N_{ch,Ed}$ wie folgt ermittelt:

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

Zu 6.3.5.3

Die Angabe zum Größtabstand der seitlichen Stützung ist ein konservativer Grenzwert, die auch eine genügende Rotationsfähigkeit an der Stelle des Fließgelenkes sicherstellen soll. Detaillierte Regeln sind im Anhang BB.3 gegeben, siehe auch Erläuterungen hierzu in [K24] und [K25].

Zu 6.4.1

Für Gurt- und Gitterstäbe (Einzelstab) wird das Biegeknicken unter reiner Normalkraft nach Abs. 6.3.1 nachgewiesen, wobei $N_{b,Rd}$ mit der in Bild 6.8. gegebenen Knicklänge berechnet wird. Die Auswahl der Knickspannungslinien erfolgt dann profilabhängig nach Tabelle 6.2. Für Gitterträger (Gesamtsystem) erfolgt der Tragfähigkeitsnachweis nach (6.69), bei dem der Nenner einem Erhöhungsfaktor nach Theorie II. Ordnung mit Berücksichtigung des Schubeinflusses entspricht. Biegeknicken ist in diesem Nachweis also enthalten und wird nicht über einen Ersatzstab nachgewiesen.

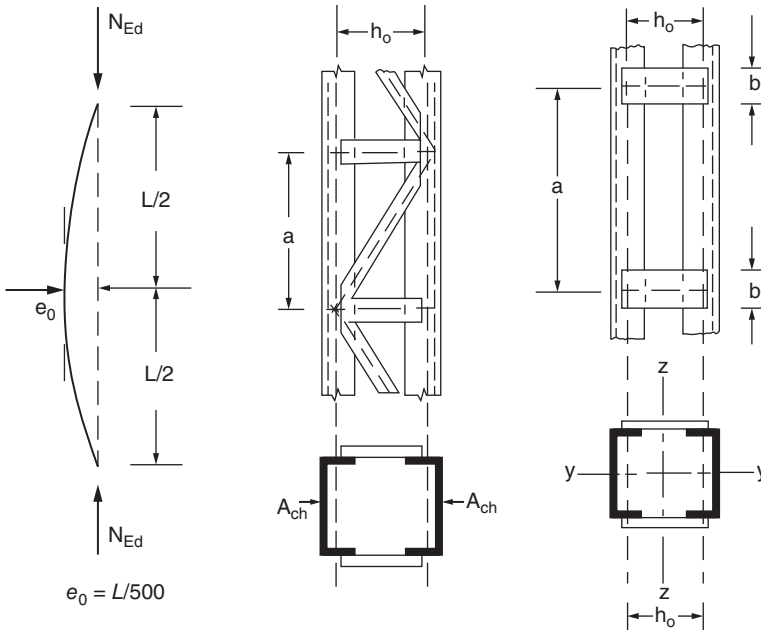


Bild 6.7. Gleichförmige mehrteilige Stützen mit Gitterstäben (Gitterstützen) und Bindeblechen (Rahmenstützen)

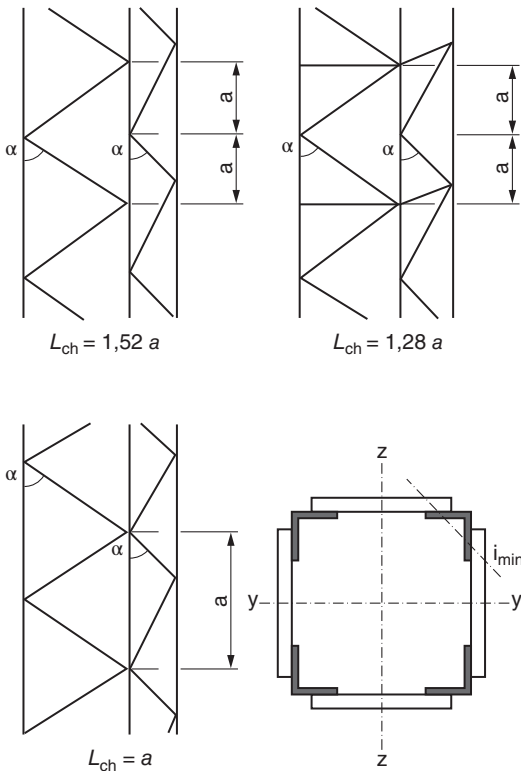


Bild 6.8. Gitterstützen mit Stäben auf vier Seiten und Knicklänge L_{ch} der Gurtstäbe

Dabei ist

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

$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$ 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}^I 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.

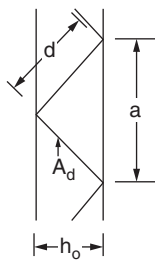
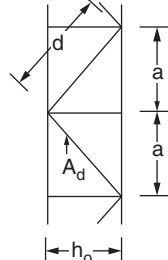
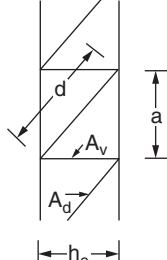
System			
S_V	$\frac{n E A_d a h_o^2}{2 d^3}$	$\frac{n E A_d a h_o^2}{d^3}$	$\frac{n E A_d a h_o^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_o^3}{A_v d^3} \right]}$
<p>n ist die Anzahl der parallelen Ebenen der Gitterstäbe A_d und A_v sind die Querschnittsflächen der Gitterstäbe einer Gitterebene</p>			

Bild 6.9. Schubsteifigkeit von Gitterstützen infolge der Verformungen der Gitterstäbe

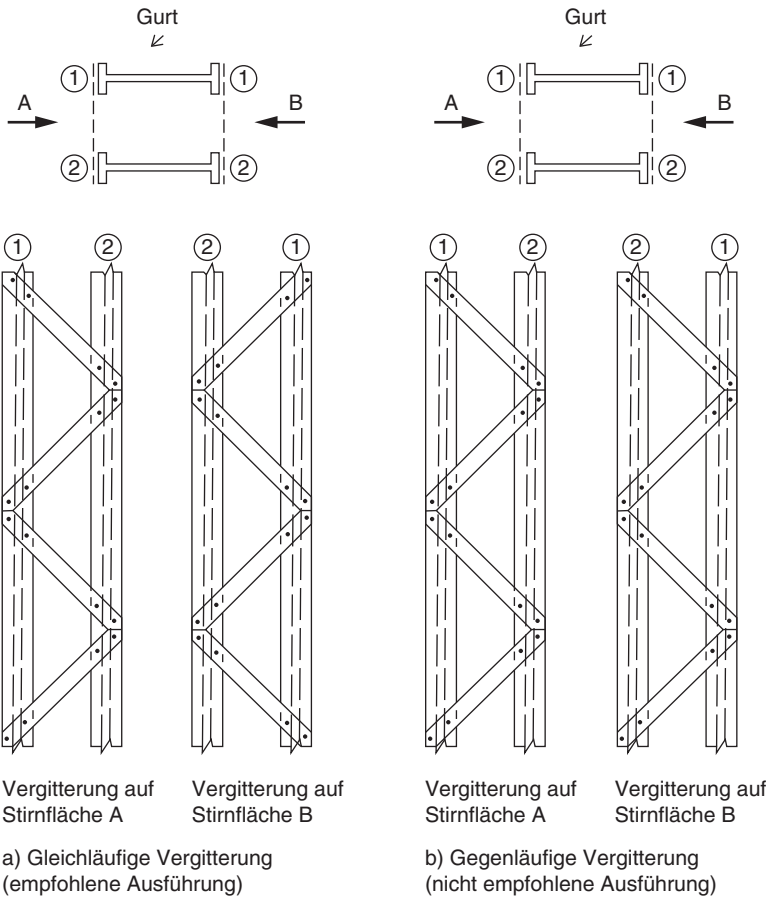


Bild 6.10. Einfache Vergitterung von gegenüberliegenden Seiten von Gitterstützen mit zwei parallelen Ebenen

(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:

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

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:

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

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.

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 Mo-

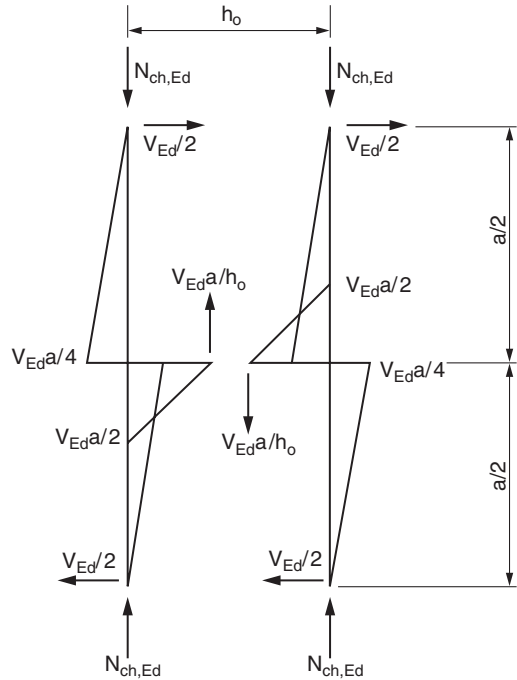


Bild 6.11. Stabkräfte im Endfeld von Stützen mit Bindeblechen

menten 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.

(2) Die Schubsteifigkeit ist in der Regel wie folgt anzunehmen:

$$S_V = \frac{24 E I_{ch}}{a^2 \left[1 + \frac{2 I_{ch} h_0}{n I_b a} \right]} \leq \frac{2 \pi^2 E I_{ch}}{a^2} \quad (6.73)$$

(3) Das effektive Flächenträgheitsmoment der Stütze mit Bindeblechen darf wie folgt angenommen werden:

$$I_{eff} = 0,5 h_0^2 A_{ch} + 2 \mu I_{ch} \quad (6.74)$$

Dabei ist

I_{ch} das Flächenträgheitsmoment eines Gurtstabes in der Nachweisebene;

I_b das Flächenträgheitsmoment eines Bindebleches in der Nachweisebene;

μ der Wirkungsgrad nach Tabelle 6.8;

n die Anzahl der parallelen Ebenen mit Bindeblechen.

Zu 6.4.1(7)

Die Angabe der Querkraft nach Gleichung (6.70) beruht auf der Annahme einer sinusförmig verteilten Querlast. Die Wirkung von stark davon abweichenden Querlasten wie zum Beispiel größere Einzellasten sind gesondert nach den Regeln der Schnittgrößenermittlung nach Theorie II. Ordnung zu erfassen.

Tabelle 6.8. Wirkungsgrad μ

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

wobei $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{1}{2 A_{ch}}}$; $l_1 = 0,5 h_0^2 A_{ch} + 2 l_{ch}$

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 übereck 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 Schubsteifig-

Tabelle 6.9. Maximaler Abstand zwischen den Bindeblechen für mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung oder mehrteilige Bauteile aus übereck gestellten Winkeln

Art der mehrteiligen Querschnitte	Maximaler Abstand zwischen den Achsen von Bindeblechen ^{a)}
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	$70 i_{min}$

a) i_{min} ist der kleinste Trägheitsradius eines Gurtstabes oder eines Winkels

- keit ($S_V = \infty$) vernachlässigt werden, solange die Voraussetzungen der Tabelle 6.9 eingehalten werden.
- (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:

$$i_y = \frac{i_0}{1,15}$$

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

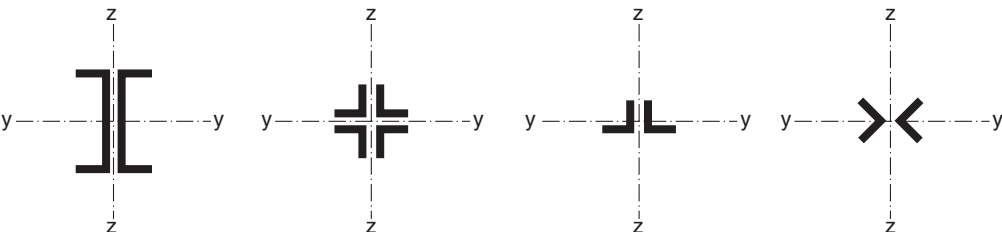


Bild 6.12. Mehrteilige Bauteile mit geringer Spreizung

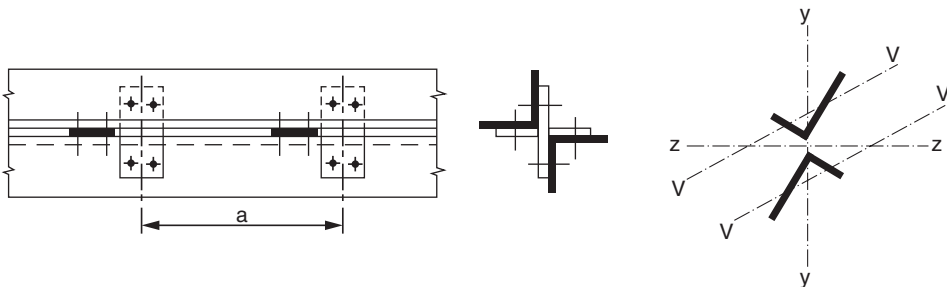


Bild 6.13. Mehrteilige Bauteile aus übereck gestellten Winkeln

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 7.2.1(1)B Anmerkung B

Für den Hochbau sind die Grenzwerte der vertikalen Durchbiegung nach DIN EN 1990:2010-12, A.1.4, Bild A.1.1 den Herstellerangaben zu entnehmen oder mit dem Auftraggeber abzustimmen.

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 7.2.2(1)B Anmerkung B

Für den Hochbau sind die Grenzwerte der horizontalen Verformung nach DIN EN 1990:2010-12, A.1.4, Bild A.1.2 den Herstellerangaben zu entnehmen oder mit dem Auftraggeber abzustimmen.

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.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu 7.2.3(1)B Anmerkung B

Für den Hochbau sind mit Bezug auf DIN EN 1990:2010-12, A.1.4.4, Vibrationen in Tragwerken zu begrenzen. Die Grenzwerte sind für jedes Projekt individuell festzulegen und mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Zu NDP zu 7.2.1(1)B Anmerkung B

Der Verweis auf DIN EN 1990 enthält nur Hinweise zur allgemeinen Vorgehensweise und die Definition der Verformungsanteile wie w_{tot} als gesamte Durchbiegung oder w_{max} als verbleibende Durchbiegung nach der Überhöhung, aber keine konkreten Grenzwerte. Diese sind zum Teil durch Normen und Zulassungen von Ausbaugewerken, wie zum Beispiel für Dach- und Wandeindeckung mit Stahlprofiltafeln [K27], indirekt gegeben. Zum großen Teil unterliegen sie aber nicht irgendwelchen bauaufsichtlich relevanten Regelungen, sondern müssen ggf. zwischen den betroffenen Parteien wie Bauherr, Planer und Nutzer individuell festgelegt werden.

Dies gilt für den allgemeinen Hochbau. Für spezielle Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel Kranbahnen, sind auch in den Normen konkretere Angaben gemacht, vgl. EN 1993-6.

Zu NDP zu 7.2.2(1)B Anmerkung B

Der Verweis auf DIN EN 1990 enthält nur Hinweise zur allgemeinen Vorgehensweise, aber keine konkreten Grenzwerte. Falls erforderlich, müssen solche Werte zwischen den betroffenen Parteien wie Bauherr, Planer und Nutzer individuell festgelegt werden, da im Allgemeinen hierzu keine bauaufsichtliche Notwendigkeit besteht. Sehr weiche Konstruktionen neigen allerdings auch zu höherer Stabilitätsgefährdung und sind im Fall von Erdbeben stärker gefährdet. Eine Begrenzung der horizontalen Verformung kann also auch zur Gewährleistung einer ausreichenden Steifigkeit beitragen.

Für spezielle Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel Kranbahnen, sind auch in den Normen konkretere Angaben gemacht, vgl. EN 1993-6.

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}	$C_{my} C_{m1,T} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{m1,T} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{m1,T} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{m1,T} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zz}	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$
Hilfswerte:		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_p = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M0}}$ $C_{1,T}$ siehe Tabelle A.2 $a_{1,T} = 1 - \frac{I_{cr}}{I_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right] n_p - b_{1,T} \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ mit $b_{1,T} = 0,5 a_{1,T} \frac{\bar{\lambda}_0}{\lambda_z} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} - \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$ $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^3} \right] n_p - c_{1,T} \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ mit $c_{1,T} = 10 a_{1,T} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,5 + \lambda_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$ $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^3} \right] n_p - d_{1,T} \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ mit $d_{1,T} = 2 a_{1,T} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,5 + \lambda_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} - \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$ $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 - e_{1,T} \right] n_p \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ mit $e_{1,T} = 1,7 a_{1,T} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,5 + \lambda_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$	

Zu Anhang A und Anhang B:

Die beiden Verfahren sind im TC8 von ECCS entwickelt worden, ausführliche Erläuterungen dazu siehe [2] in NCI Literaturhinweise. Zu den Hintergründen und der Anwendung von Anhang B siehe [K29].

Ein wesentlicher Unterschied bei der Anwendung zwischen beiden Verfahren besteht darin, dass im Verfahren 1 keine Möglichkeit vorgesehen ist, beim Nachweis des Biegedrillknickens Zwischenabstütungen in Trägern zu berücksichtigen. Im Verfahren 2 ist dies der Fall, vgl. [K29].

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

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \frac{\bar{\lambda}_y}{\bar{\lambda}_z} \right\}$$

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

$\bar{\lambda}_{LT}$ = Schankheitsgrad für Biegedrillknicken

$$\text{Für } \bar{\lambda}_0 \leq 0,2\sqrt{C_1} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$

gilt: $C_{my} = C_{my,0}$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$\text{Für } \bar{\lambda}_0 > 0,2\sqrt{C_1} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$$

$$\text{gilt: } C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$C_{mz,0}$ siehe Tabelle A.2

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} \quad \text{für Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4}$$

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.

$N_{cr,y}$ = ideale Verzweigungslast für Knicken um die y - y Achse

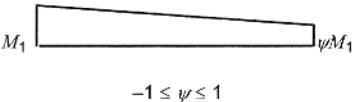
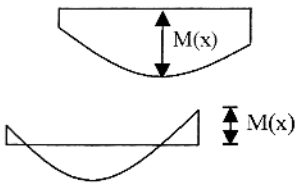
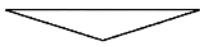

$N_{cr,z}$ = ideale Verzweigungslast für Knicken um die z - z Achse

$N_{cr,T}$ = ideale Verzweigungslast für Drillknicken

I_T = St. Venant'sche Torsionseifigkeit

I_y = Flächenträgheitsmoment um die y - y Achse

Tabelle A.2. Äquivalente Momentenbeiwerte $C_{mi,0}$

Momentenverlauf	$C_{mi,0}$
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21 \psi_1 + 0,36 (\psi_1 - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,j}}$
	$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,j}}$ <p>$M_{i,Ed}(x)$ ist das größere der Momente $M_{y,Ed}$ oder $M_{x,Ed}$ nach der Berechnung nach Theorie I. Ordnung δ_x ist die größte Verformung entlang des Bauteils</p>
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,j}}$
	$C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,j}}$

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}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>für $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</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

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.

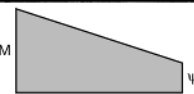
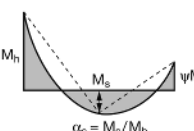
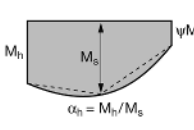
Zu Tabelle A.2

$M_{i,Ed}(x)$ ist das betragsmäßig größte Moment $M_{y,Ed}$ für $C_{my,0}$ und $M_{z,Ed}$ für $C_{mz,0}$, ermittelt nach Theorie I. Ordnung. Für die größte Verformung δ_x entlang des Bauteils ist bei der Berechnung von $C_{my,0}$ die Verschiebung in z-Richtung infolge $M_{y,Ed}$ und bei der Berechnung von $C_{mz,0}$ entsprechend die Verschiebung in y-Richtung infolge von $M_{z,Ed}$ anzusetzen.

Zu Tabelle B.1 und B.2

Als Querschnitte sind hier nur I-Querschnitte und rechteckige Hohlquerschnitte aufgeführt. Jüngere Untersuchungen [K52, K53] haben die Anwendbarkeit auch für runde Hohlprofile gezeigt.

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
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$	
	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$-0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \alpha_h (1 + 2 \psi)$	$0,90 + 0,10 \alpha_h (1 + 2 \psi)$
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		

- (2)B Die Knicklänge L_{cr} eines Gurtstabes mit I- oder H-Querschnitten darf zu $0,9 L$ für Biegeknicken in der Ebene und zu $1,0 L$ 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 $0,9 L$ 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.

Zu Tabelle B.3

Die Werte C_m gemäß den Formeln wurden für Knicklängen entsprechend den Stablängen entwickelt, vgl. Methode b) nach 5.2.2(7). Für das Ersatzstabverfahren gemäß 5.2.2(8) mit Knicklängen größer als die Stablängen bei verschieblichen Rahmen ist C_m immer zu $0,9$ zu setzen, vgl. entsprechenden Hinweis in der Tabelle.

Die Koeffizienten α_s und α_h bestimmen sich nach dem Verhältnis der absoluten Momentenwerte für das Moment M_h an der Stützung und M_s in Feldmitte. Falls der absolute Wert von M_h größer ist als M_s , dann gilt $\alpha_s = M_s/M_h$ (mit Vorzeichen) und die Formeln in den ersten 3 Zeilen gelten für die Bestimmung von C_m . Im umgekehrten Fall, also der absolute Wert von M_s ist größer als M_h , dann gilt $\alpha_h = M_h/M_s$ (mit Vorzeichen) und die Formeln in den letzten 3 Zeilen sind maßgebend für die Bestimmung von C_m . Erläuterungen hierzu auch in [K52].

Der Begriff „in der Ebene gehalten“ für die Zuordnung der Momentenbeiwerte unten in der Tabelle B.3 ist an dieser Stelle leider etwas unglücklich gewählt. Eigentlich sind hier die Halterungen in Richtung der entsprechenden Querschnittsachsen gemeint.

Der effektive Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{\text{eff}}$ darf wie folgt ermittelt werden:

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},v} = 0,35 + 0,7 \bar{\lambda}_v \quad \text{für Biegeknicken um die } v\text{-}v\text{-Achse;} \quad (\text{BB.1})$$

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},y} = 0,50 + 0,7 \bar{\lambda}_y \quad \text{für Biegeknicken um die } y\text{-}y\text{-Achse;} \quad (\text{BB.1})$$

$$\bar{\lambda}_{\text{eff},z} = 0,50 + 0,7 \bar{\lambda}_z \quad \text{für Biegeknicken um die } z\text{-}z\text{-Achse;} \quad (\text{BB.1})$$

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, ist in der Regel die Exzentrizität unter Verwendung von 6.2.9 zu berücksichtigen und die Knicklänge L_{cr} ist als Systemlänge anzunehmen.

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 $0,9 L$ 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 Fachwerkdagonalen mit Hohlquerschnitt darf bei geschraubten Anschlüssen mit $1,0 L$ für Biegeknicken in und aus der Ebene angenommen werden.

(3)B 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.

Anmerkung: Weitere Informationen zu Knicklängen können im Nationalen Anhang angegeben sein.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu BB.1.3(3)B Anmerkung

Für den Hochbau dürfen die Hinweise zu Knicklängen von Hohlprofilstäben in Fachwerkträgern in [1] verwendet werden.

Falls für die Streben ein Knicklängenfaktor von 0,75 oder niedriger verwendet wird, dann darf in derselben Einwirkungskombination die Knicklänge für die Gurtstäbe nicht reduziert werden.

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.

$$S \geq \left(E L_w \frac{\pi^2}{L^2} + G I_t + E I_z \frac{\pi^2}{L^2} 0,25 h^2 \right) \frac{70}{h^2} \quad (\text{BB.2})$$

Dabei ist

S die Schubsteifigkeit der Bleche (auf den untersuchten Träger entfallenen Anteil) im Hinblick auf die Verformungen des Trägers in der Blechebene;

I_w das Wölbflächenmoment 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:

$$C_{\vartheta,k} > \frac{M_{\text{pl,k}}^2}{E I_z} K_{\vartheta} K_v \quad (\text{BB.3})$$

Zu NDP zu BB.1.3(3)B Anmerkung

Wird durch Berücksichtigung einer gegenüber der Stablänge reduzierten Knicklänge für die Strebe eine Einspannung in die Gurtstäbe berücksichtigt, kann nicht gleichzeitig auch für die Gurtstäbe eine Einspannung in die Strebe angenommen werden.

Zu BB.2.1(1)B

Die Regel entspricht der Regel in Element (308) in Abschnitt 3.3.2 in DIN 18800-2 [K2]. Dort wird für die Ermittlung der vorhandenen Schubsteifigkeit der Bleche Bezug genommen auf DIN 18807 [K26], die nur zum Teil gleichwertig durch EN 1993-1-3 ersetzt wird.

Untersuchungen [K36] zeigen, dass der Einfluss der Verbindungsmittelsteifigkeit bei der Berechnung der Schubsteifigkeit S eines Trapezprofils eine zentrale Bedeutung hat. Die Verbindungsmittelsteifigkeit wird im ECCS-Dokument [K37], auf das in EN 1993-1-3 verwiesen wird, beachtet. Im zu EN 1993-1-3 gehörigen deutschen Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-3/NA:2017 wird im NCI zu 10.3.1 derzeit zusätzlich auf DIN 18807-3 [K26] verwiesen. Die Werte in DIN 18807-3 ignorieren die Steifigkeit der Verbindungsmittel, womit die beiden Weisungen also im Widerspruch zueinander stehen. Eine Überarbeitung des Verweises auf DIN 18807-3 ist in Arbeit.

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_{ϑ} = 0,35 für die elastische Berechnung;

K_{ϑ} = 1,00 für die plastische Berechnung;

K_{ϑ} 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.

(2)B Die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit Trägerlänge) durch das durchgehende Stabilisierungselement (z. B. die Dachkonstruktion) ist wie folgt zu berechnen:

$$\frac{1}{C_{\vartheta,k}} = \frac{1}{C_{\vartheta,R,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta,C,k}} + \frac{1}{C_{\vartheta,D,k}} \quad (\text{BB.4})$$

Dabei ist

$C_{\vartheta,R,k}$ die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) des stabilisierenden Bauteils unter der Annahme einer steifen Verbindung mit dem Träger;

$C_{\vartheta,C,k}$ die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) der Verbindung zwischen dem Träger und dem stabilisierenden Bauteil;

$C_{\vartheta,D,k}$ die Verdrehsteifigkeit (je Längeneinheit) infolge von Querschnittsverformungen des Trägers.

Anmerkung: Weitere Informationen zur Bestimmung der Verdrehsteifigkeit, siehe EN 1993-1-3.

Zu BB.2.2(1)B

Bei der Unterscheidung für K ist mit den Begriffen elastische Berechnung plastische Berechnung tatsächlich die Ausnutzung des elastischen bzw. plastischen Querschnittswiderstands gemeint.

Zu BB.2.2(2)B und NCI

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Bezeichnungen für die Drehbettung und die Drehbettungsanteile unterschiedlich zu EN 1993-1-3 (Abschn. 10.1.5.2(1)) definiert sind. Im Folgenden sind die unterschiedlichen Bezeichnungen zusammenfassend dargestellt:

$$C_{\vartheta,k} \hat{=} C_D$$

$$C_{\vartheta,C,k} \hat{=} C_{D,A}$$

$$C_{\vartheta,R,k} \hat{=} C_{D,C}$$

Formeln zur Ermittlung der Verdrehsteifigkeiten lassen sich unter anderem in [K18] und [K44] wiederfinden. Dabei ist darauf zu achten, dass für die Ermittlung der Verdrehsteifigkeit $C_{\vartheta,D,k}$ nach Formel (K.12) die Querschnittswerte in [cm] einzusetzen sind.

$$C_{\vartheta,D,k} = 5770/h/s^3 + c_1 \cdot b/t^3 \quad [\text{kNm/m}] \quad (\text{K.12})$$

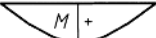
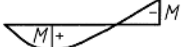
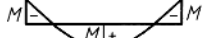
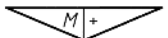
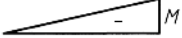
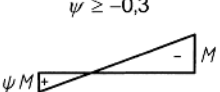
NCI

DIN EN 1993-1-1/NA

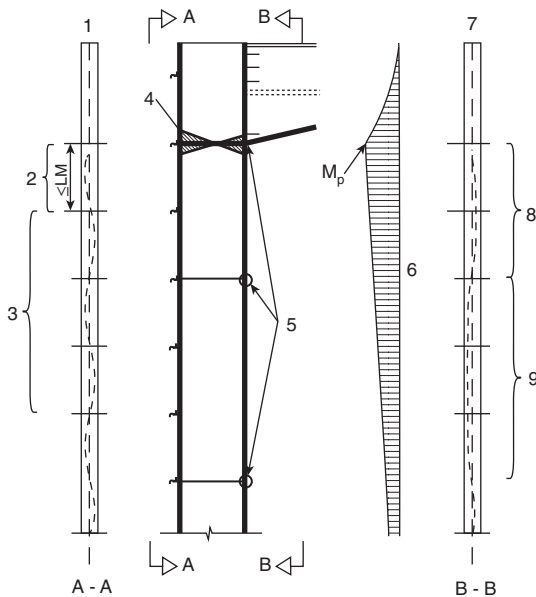
zu BB.2.2

Die Tabelle BB.1 ist durch die folgende neue Tabelle BB.1 zu ersetzen:

Tabelle BB.1. Faktor K_{ϑ} zur Berücksichtigung des Momentenverlaufs und der Art der Lagerung in Abhängigkeit von der Biegedrillnicklinie nach Tabelle 6.5 (Gl. (6.57))

Zeile	Momentenverlauf	freie Drehachse			gebundene Drehachse		
		b	c	d	b	c	d
1		6,8	10,0	14,2	0	0	0
2		4,8	7,3	10,9	0,04	0,11	0,40
3		4,2	6,4	9,7	0,22	0,40	0,66
4		2,8	4,4	7,1	0	0	0
5		0,89	1,4	2,6	0,33	0,71	1,6
6		0,47	0,75	1,4	0,14	0,33	0,90

M : Betrag des Biegemoments M_y



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

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:

$$L_m = \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t} \right) \left(\frac{f_y}{235} \right)^2}} \quad (\text{BB.5})$$

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 Abschnittendes und eine zusätzliche Verdrehbehinderung, die den seitlichen Größtabstand L_s erfüllt.

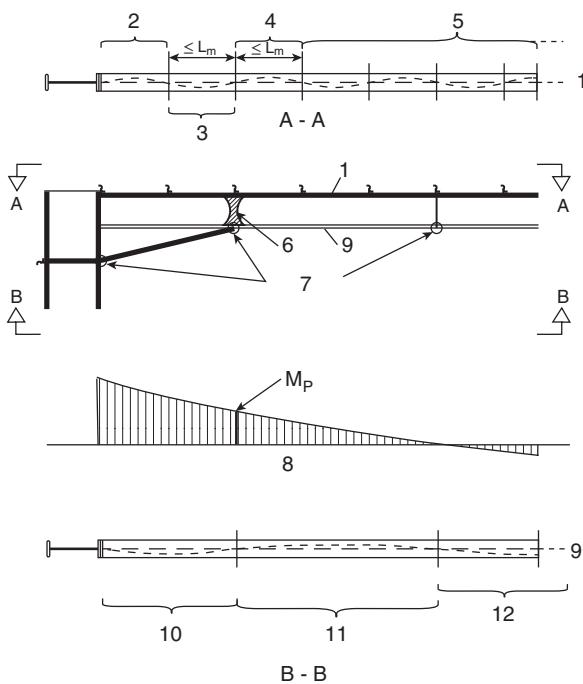
Dabei ist

- N_{Ed} die einwirkende Druckkraft, in N;
- A die Querschnittsfläche, in mm^2 ;
- $W_{pl,y}$ das plastische Widerstandsmoment;
- I_t das Torsionsflächenmoment 2. Grades;
- f_y die Streckgrenze, in N/mm^2 ;
- 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.

Anmerkung: Im Allgemeinen ist L_s größer als L_m .

Zu BB.3

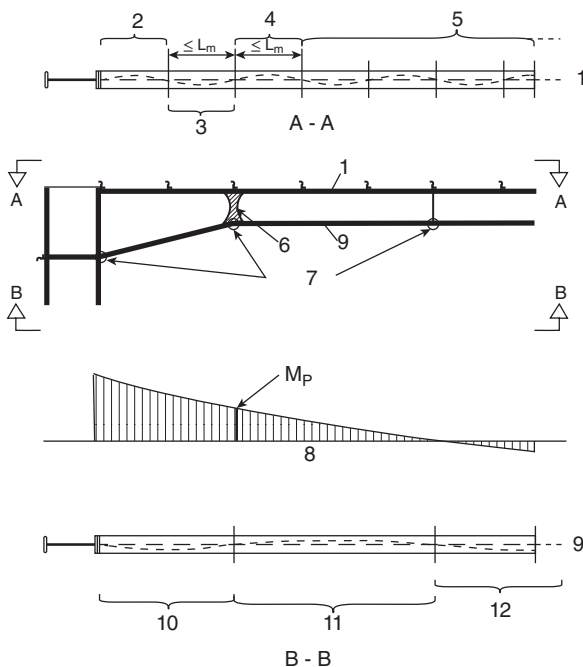
Die Regelungen in diesem Abschnitt beruhen auf einer Tradition in England, Rahmentragwerke plastisch, also unter Ausnutzung der Schnittgrößenumlagerung aufgrund des nichtlinearen Werkstoffverhaltens, zu bemessen. Dies erfordert nach 6.3.5.1 eine seitliche Stützung an allen Fließgelenken mit Rotationsanforderungen entsprechend 6.3.5.2 und einen Stabilitätsnachweis für die Tragwerksabschnitte zwischen solchen Stützungen und anderen seitlichen Lagerungen entsprechend 6.3.5.3. Anhang BB.3 enthält detaillierte Regeln für den Stabilitätsnachweis in 6.3.5.3. Man kann entweder den Nachweis führen, dass der Druckgurt in einem entsprechend engen Raster von L_m gestützt ist, oder man weist eine dichte Stützung am Zuggurt und eine entsprechende Verdrehbehinderung des Druckgurt im Abstand L_k bzw. L_s nach. Die Regeln liegen in BB.3.1 für parallelgurtige Profile und in BB.3.2 für Voutenbereiche vor. Erläuterungen zur Anwendung des Verfahrens mit Beispielrechnungen sind in [K24] und [K25] zu finden.



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 dreiflansigen 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 zweiflansigen 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:

$$L_k = \frac{\left(5,4 + \frac{600 f_y}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right) i_z}{\sqrt{5,4 \left(\frac{f}{E}\right) \left(\frac{h}{t_f}\right)^2 - 1}} \quad (\text{BB.6})$$

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:

$$L_m = \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t} \right) \left(\frac{f_y}{235} \right)^2}} \quad (\text{BB.9})$$

– bei Vouten mit zwei Flanschen, siehe Bild BB.3:

$$L_m = 0,85 \frac{38 i_z}{\sqrt{\frac{1}{57,4} \left(\frac{N_{Ed}}{A} \right) + \frac{1}{756 C_1^2} \left(\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t} \right) \left(\frac{f_y}{235} \right)^2}} \quad (\text{BB.10})$$

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;

$\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t}$ der Größtwert über die Abschnittslänge;

A die Querschnittsfläche des gevouteten Bauteils, in mm², an der Stelle wo $\frac{W_{pl,y}^2}{A I_t}$ maximal wird;

C_1 ein von der Belastungssituation und den Lagebedingungen abhängiger Faktor; kann als $C_1 = k_c^2$ angenommen werden, wobei k_c der Tabelle 6.6 entnommen werden kann;

$W_{pl,y}$ das plastische Widerstandsmoment des Bauteils;

I_T das Torsionsträgheitsmoment des Bauteils;

f_y die Streckgrenze, in N/mm²;

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

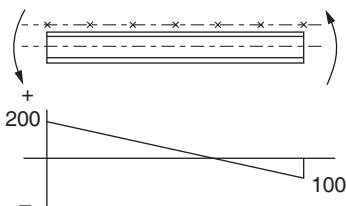
(1)B Der Modifikationsfaktor C_m kann wie folgt bestimmt werden:

$$C_m = \frac{1}{B_0 + B_1 \beta_t + B_2 \beta_t^2} \quad (\text{BB.13})$$

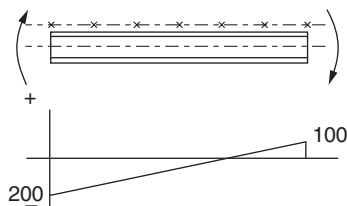
Dabei ist

$$B_0 = \frac{1 + 10 \eta}{1 + 20 \eta};$$

$$B_1 = \frac{5 \sqrt{\eta}}{\pi + 10 \sqrt{\eta}};$$



$$\beta_t = \frac{-100}{+200} = -0,5$$



$$\beta_t = \frac{-200}{+100} = -2,0$$

jedoch $\beta_t \geq -1,0$, daher $\beta_t = -1,0$

$$B_2 = \frac{0,5}{1 + \pi \sqrt{\eta}} - \frac{0,5}{1 + 20 \eta};$$

$$\eta = \frac{N_{crE}}{N_{crT}};$$

$$N_{crE} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_t^2};$$

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.

$$i_s^2 = i_y^2 + i_z^2 + a^2$$

a der Abstand zwischen der Bauteilachse und den Achsen der stützenden Bauteile, wie z. B. der Pfetten, die den Rahmenriegel abstützen;

β_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.

BB.3.3.2 Nichtlinearer Momentenverlauf

(1)B Der Modifikationsfaktor C_n kann wie folgt bestimmt werden:

$$C_n = \frac{12}{[R_1 + 3 R_2 + 4 R_3 + 3 R_4 + R_5 + 2(R_S - R_E)]} \quad (\text{BB.14})$$

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.4. Bestimmung von β_t

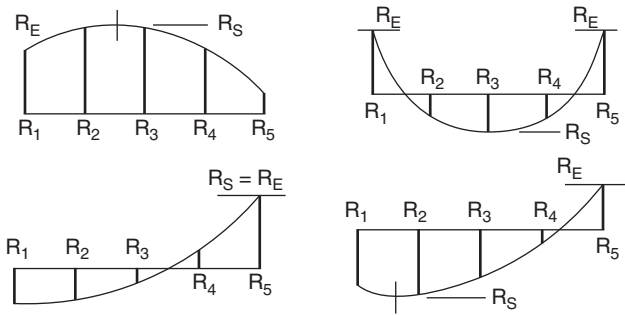


Bild BB.5. Momentenwerte

(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;

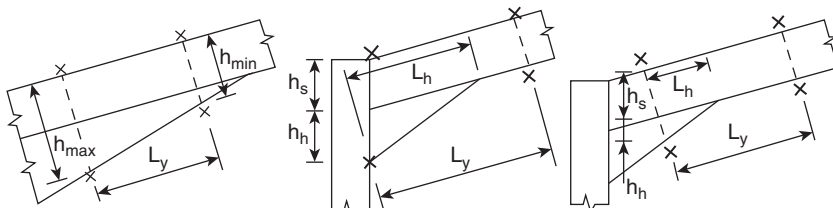
h_{\min} die minimale Querschnittshöhe innerhalb der Länge L_y , siehe Bild BB.6;

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.



a) Bauteil veränderlicher Höhe

b) Abschnitt mit Voute
 $x = \text{Abstützung}$

c) Abschnitt mit Voute

Bild BB.6. Abmessungen zur Bestimmung des Voutenfaktors c

Anhang C (normativ)

Auswahl der Ausführungsklasse

C.1 Allgemeines

C.1.1 Grundanforderungen

(1)P Um die in EN 1990 geforderte Zuverlässigkeit des fertig gestellten Tragwerks zu erreichen, ist eine angemessene Ausführungsklasse auszuwählen. Dieser Anhang bildet die Basis für diese Auswahl.

C.1.2 Ausführungsklasse

(1) Die Ausführungsklasse (EXC) wird als in Klassen zusammengefasste Anforderungen, die für die Ausführung der Stahlkonstruktion als Ganzes, eines einzelnen Bauteils oder eines Details eines Bauteils festgelegt sind, definiert.

(2) Um Anforderungen an die Ausführung von Stahlkonstruktionen nach EN 1090-1 und EN 1090-2 festzulegen, sollte die Auswahl der Ausführungsklasse – EXC1, EXC2, EXC3 oder EXC4 – vor Beginn der Ausführung getroffen werden. Die Anforderungen an die Ausführung steigen von EXC1 bis EXC 4 an.

Anmerkung 1: Es wird davon ausgegangen, dass EN 1993 und EN 1994 in Verbindung mit EN 1090-1 und EN 1090-2 angewendet werden. EN 1993-1-9, EN 1993-2, EN 1993-3-1 und EN 1993-3-2 enthalten ergänzende Anforderungen zu EN 1090-2 an die Ausführung von Tragwerken, Bauteilen oder Details, die Ermüdungseinwirkungen ausgesetzt sind. Zusätzlich zu EN 1090-2 werden weitere Europäische Normen für die Ausführung von Pfählen und Spundwänden in EN 1993-5 in Bezug genommen.

Anmerkung 2: In EN 1090-2 wird festgelegt, dass die Ausführungsklasse EXC2 gilt, wenn keine Ausführungsklasse vorgegeben wird.

C.2 Auswahlverfahren

C.2.1 Maßgebende Faktoren

(1) Die Auswahl der Ausführungsklasse sollte auf den folgenden drei Faktoren beruhen:

- der geforderten Zuverlässigkeit;
- der Art von Tragwerk, Bauteil oder Detail; und
- der Art der Belastung, für die das Tragwerk, das Bauteil oder das Detail bemessen wird.

Zu Anhang C

Der *normative* Anhang C in EN 1993-1-1 ersetzt den nun den *informativen* Anhang B in EN 1090-2, der bisher die Zuordnung der Ausführungsklassen enthielt. Der Anhang wird über den neu formulierten Abschnitt 2.1.2 verpflichtend. Das heißt, die Tragwerksplanung legt die Ausführungsklasse fest. Ein Vorteil der neuen Regelung ist, dass sie etwas einfacher ist: Gemäß Tabelle BB.1 wird es nur noch eine Zuordnung zur Schadensfolgeklasse (CC) bzw. Zuverlässigkeitsklasse (RC) nach EN 1990 geben. Über den Nationalen Anhang können zudem nationale Bestimmungen zu den Ausführungsklassen festgelegt werden, wie es für EN 1090 nicht so ohne weiteres möglich war.

Auch schon in EN 1090 war Ausführungsklasse EXC2 so eine Art Basisklasse, die immer gilt, wenn nichts vorgegeben ist. Dies wird durch den Nationalen Anhang bestätigt, Der Nationalen Anhang sieht eine Zuordnung der Ausführungsklassen auf der Grundlage der Schadensfolgeklassen bzw. der Konstruktionsart vor. Es werden die Anwendungsbereiche für die Ausführungsklassen EXC1, EXC3 und EXC4 detailliert, im Übrigen gilt EXC2. Die angegebenen Konstruktionsarten für Ausführungsklasse EXC1, EXC3 und EXC4 entsprechen im Wesentlichen den bisherigen Regelungen zur Anwendung von EN 1090 in der Musterliste der technischen Baubestimmungen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist in C.2.2(4) gegeben. Ausführungsklassen werden für Konstruktionsarten bzw. Tragwerke bestimmt, einzelne Bauteile und Details können aber davon abwei-

chen. So können bei hoch ermüdungsbeanspruchten Konstruktionen wie Eisenbahn- und Straßenbrücken Bauteile wie Geländer anstelle von EXC3 der Ausführungsklasse EXC2 zugeordnet werden. Umgekehrt ist in einer typischen Hallenkonstruktion mit Ausführungsklasse EXC2, die Kranbahn EXC3 zuzuordnen.

Die Aufteilung nach der Art der Einwirkungen unterscheidet zwischen statischen Einwirkungen, quasi-statischen Einwirkungen, seismischen Einwirkungen verschiedenen Grades und ermüdungsrelevanten Beanspruchungen. Diese Aufteilung ist tatsächlich nicht ganz so eindeutig. „Quasi-statisch“ scheint heute begrifflich das früher genutzte „vorwiegend ruhend“ zu ersetzen. Die Anmerkung im Nationalen Anhang, dass seismische Beanspruchung wie quasi-statische Beanspruchungen behandelt werden können, zielt darauf. Bei Geh- und Radwegbrücken, die auch im Allgemeinen als „quasi-statisch“ – also nicht ermüdungsbeansprucht – angesehen werden, ist die Zuordnung zur Ausführungsklasse EXC3 jetzt nicht mehr pauschal, sondern es sind Grenzwerte angegeben, ab denen EXC3 anzuwenden ist. Damit soll wohl berücksichtigt werden, dass es sich bei Geh- und Radwegbrücken zum Teil um anspruchsvolle, eventuell schwingungsanfällige Konstruktionen handelt, deren Versagen ggf. erhebliche Schadensfolgen haben kann, z. B. wenn sie Wasserstraßen oder andere Verkehrswege überführen. Die genauen Grenzwerte sollen deshalb eher einen Anhaltswert für mögliche Gefährdungen geben. Ähnliches gilt für die neuen Grenzwerte bei Türme und Maste von 20 m Konstruktionshöhe.

Tabelle BB.1. Auswahl der Ausführungsklasse (EXC)

Zuverlässigkeitsklasse (RC) oder Schadensfolgeklasse (CC)	Art der Belastung	
	Statische, quasi-statische oder seismische Einwirkungen (DCL) ^{a)}	Ermüdung ^{b)} oder seismische Einwirkungen (DCM oder DCH) ^{a)}
RC3 oder CC3	EXC3 ^{c)}	EXC3 ^{c)}
RC2 oder CC2	EXC2	EXC3
RC1 oder CC1	EXC1	EXC2

a) Seismische Duktilitätsklassen werden in EN 1998-1 definiert: niedrig = DCL; mittel = DCM; hoch = DCH.

b) Siehe EN 1993-1-9.

c) EXC4 kann für Tragwerke festgelegt werden, wenn das Versagen der Konstruktion schwerwiegende Folgen hätte.

C.2.2 Auswahl

(1) Hinsichtlich der Behandlung der Zuverlässigkeit sollte die Auswahl der Ausführungsklasse entweder auf der geforderten Schadensfolgeklasse (CC, *consequence class*) oder der geforderten Zuverlässigkeitsklasse (RC, *reliability class*) oder auf beiden beruhen. Die Konzepte der Zuverlässigkeitsklasse und der Schadensfolgeklasse werden in EN 1990 definiert.

(2) Hinsichtlich der Art der Belastung einer Stahlkonstruktion, eines Bauteils oder eines Details sollte die Ausführungsklasse darauf basieren, ob das Tragwerk, das Bauteil oder das Detail für statische Einwirkungen, quasi-statische Einwirkungen, Ermüdungseinwirkungen oder seismische Einwirkungen bemessen wurde.

(3) Die Auswahl der Ausführungsklasse (EXC) sollte auf Tabelle BB.1 beruhen.

Anmerkung 1: Der Nationale Anhang darf angeben, ob die Auswahl der Ausführungsklasse (EXC) auf der Zuverlässigkeitsklasse oder der Schadensfolgeklasse oder auf beiden beruht und ob die Wahl von der Art der Konstruktion abhängt. Der Nationale Anhang darf angeben, ob die Tabelle BB.1 anzuwenden ist.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu C.2.2(3), Anmerkung 1

Die Auswahl der Ausführungsklasse erfolgt in Deutschland auf Grundlage der Schadensfolgeklasse und der Konstruktionsart. Die Auswahlkriterien sind in Abschnitt „NDP zu C.2.2(4), Anmerkung“ festgelegt.

Anmerkung 2: Konstruktionen nach EN 1993-4-1 und EN 1993-4-2 sind von der Auswahl der Schadensfolgeklasse abhängig. Konstruktionen nach EN 1993-3-1 und EN 1993-3-2 sind von der Auswahl der Zuverlässigkeitsklasse abhängig.

(4) Falls sich die für bestimmte Bauteile und/oder Details geforderte Ausführungsklasse von der Ausführungsklasse, die im Allgemeinen für das Tragwerk gilt, unterscheidet, sollten diese Bauteile und/oder Details eindeutig identifiziert und angegeben werden.

Anmerkung: Die Auswahl der Ausführungsklasse in Abhängigkeit von der Art von Bauteilen oder Details darf im Nationalen Anhang festgelegt werden. Es wird Folgendes empfohlen:

Wird für ein Tragwerk die Klasse EXC1 ausgewählt, sollte die Klasse EXC2 für die nachstehend aufgeführten Bauteilarten gelten:

- geschweißte Bauteile, die aus Stahlprodukten der Stahlsorte S 355 oder höher hergestellt werden;
- für die Standsicherheit wesentliche Bauteile, die auf der Baustelle miteinander verschweißt werden;
- geschweißte Bauteile aus Kreishohlprofil-Fachwerkträgern, die besonders geschnittene Endquerschnitte erfordern;
- Bauteile, die durch Warmumformen gefertigt oder im Verlauf der Herstellung einer Wärmebehandlung unterzogen werden.

NDP

DIN EN 1993-1-1/NA

zu C.2.2(4), Anmerkung

Für die Auswahl der Ausführungsklassen gilt Folgendes:

Ausführungsklasse EXC1

In diese Ausführungsklasse fallen statisch und quasistatisch beanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S 275 und Werkstoffdicke bis max. 20 mm und Kopf- und Fußplatten bis max. 30 mm, für die einer der folgenden Punkte (a bis h) vollständig zutrifft:

- Tragkonstruktionen mit
 - bis zu zwei Geschossen aus Walzprofilen ohne biegesteife Kopf-, Fuß- und Stirnplattenstöße mit einer maximalen Geschosshöhe von 3 m;
 - druck- und biegebeanspruchte Stützen ohne Stoß;
 - Biegeträgern mit bis zu 5 m Spannweite und Auskragungen bis 2 m;
 - charakteristischen veränderlichen, gleichmäßig verteilten Einwirkungen/Nutzlasten bis 2,5 kN/m² und charakteristischen veränderlichen Einzelnutzlasten bis 2,0 kN;

- b) Tragkonstruktionen mit max. 30° geneigten Belastungsebenen (z. B. Rampen) mit Beanspruchungen durch charakteristische Achslasten von max. 63 kN oder charakteristische veränderliche, gleichmäßig verteilte Einwirkungen/Nutzlasten von bis zu 17,5 kN/m² (Kategorie E2.4 nach DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12, Tabelle 6.4DE) in einer Höhe von max. 1,25 m über festem Boden wirkend;
- c) Treppen und Balkonanlagen bis zu einer Absturzhöhe von 12 m in bzw. an Wohngebäuden;
- d) alle Geländer mit einer horizontalen Nutzlast bis $q_k = 0,5 \text{ kN/m}$ nach DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12, Tabelle 6.12 DE;
- e) Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenverkehr (z. B. Scheunen, Gewächshäuser);
- f) Wintergärten, Überdachungen, Carports an Wohngebäuden;
- g) Gebäude, die selten von Personen betreten werden, wenn der Abstand zu anderen Gebäuden oder Flächen mit häufiger Nutzung durch Personen mindestens das 1,5-fache der Gebäudehöhe beträgt.
- h) Regalanlagen in Gebäuden bis zu einer Lagerhöhe von 7,5 m.

Die Ausführungsklasse EXC1 gilt auch für andere vergleichbare Bauwerke, Tragwerke und Bauteile.

Ausführungsklasse EXC2

In diese Ausführungsklasse fallen statisch, quasi-statisch und ermüdungsbeanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S 700, die nicht den Ausführungsklassen EXC1, EXC3 und EXC4 zuzuordnen sind.

Ausführungsklasse EXC3

In diese Ausführungsklasse fallen statisch, quasi-statisch und ermüdungsbeanspruchte Bauteile oder Tragwerke aus Stahl bis zur Festigkeitsklasse S 700, für die mindestens einer der folgenden Punkte zutrifft:

- a) Dachkonstruktionen von Versammlungsstätten/Stadien;
- b) Gebäude mit mehr als 15 Geschossen;
- c) folgende Tragwerke oder deren Bauteile:
 - Geh- und Radwegbrücken mit einer Spannweite über 15 m oder einer Fläche über 75 m²,
 - Straßenbrücken,
 - Eisenbahnbrücken,
 - ermüdungsbeanspruchte fliegende Bauten,
 - ermüdungsbeanspruchte Türme und Maste wie z. B. Antennentragwerke und Türme und Maste über 20 m Konstruktionshöhe,
 - Kranbahnen,
 - ermüdungsbeanspruchte zylindrische Türme wie z. B. Tragrohre für Schornsteine und zylindrische Türme über 20 m Konstruktionshöhe,
- d) Bauteile für den Stahlwasserbau, wie: Verschlüsse, Kanalbrücken und Schiffshebewerke.

Die Ausführungsklasse EXC3 gilt auch für andere vergleichbare Bauwerke, Tragwerke und Bauteile.

Ausführungsklasse EXC4

In diese Ausführungsklasse fallen alle Bauteile oder Tragwerke der Ausführungsklasse EXC3 mit extremen Versagensfolgen für Menschen und Umwelt, wie z. B.:

- a) Straßenbrücken und Eisenbahnbrücken (siehe DIN EN 1991-1-7) über dicht besiedeltem Gebiet oder über Industrieanlagen mit hohen Gefährdungspotenzial;
- b) Sicherheitsbehälter in Kernkraftwerken.

Anmerkung: Bei der Auswahl der Ausführungsklasse können seismische Beanspruchungen wie quasi-statische Beanspruchungen behandelt werden.

(5) Die Festlegung einer höheren Ausführungsklasse für die Ausführung eines Tragwerks oder eines Bauteils oder eines Details sollte nicht dazu genutzt werden, um bei der Bemessung des betreffenden Tragwerks oder Bauteils oder Details die Anwendung niedrigerer Teilsicherheitsbeiwerte für den Widerstand zu rechtfertigen.

NCI

Literaturhinweise

- [1] Knick- und Beulverhalten von Hohlprofilen (rund und rechteckig), CIDECT, J. Rondal et al., TÜV Rheinland, 1992, ISBN 3-8249-0067-X
- [2] Boissonnade, N., Greiner, R., Jaspert, J.P., Lindner, J., Rules for member stability in EN 1993-1-1, background documentation and design guidelines. ECCS/EKS publ. no. 119, Brüssel, 2006
- [3] Lindner, J.: Zur Aussteifung von Biegeträgern durch Drehbettung und Schubsteifigkeit. Stahlbau 77(2008), S. 427–435

Literatur zu den Kommentaren

- [K1] DIN 18800-1:2008-11 (2008) *Stahlbauten, Teil 1: Bemessung und Konstruktion*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K2] DIN 18800-2:2008-11 (2008) *Stahlbauten, Teil 2: Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K3] DIN 18800-7:2008-11 (2008) *Stahlbauten, Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K4] DAST-Richtlinie 009 (2005) *Stahlsortenauswahl für geschweißte Stahlbauten*. Düsseldorf: Stahlbau Verlags- und Service GmbH, Januar 2005.
- [K5] Kuhlmann, U.; Froschmeier, B.; Euler, M. (2010) *Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau – Erläuterungen zur Struktur und Anwendung von DIN EN 1993-1-1*. Stahlbau 79, H. 11, S. 779–792.
- [K6] Lindner, J.; Heyde, S. (2009) *Schlanke Stabtragwerke* in: Kuhlmann, U., [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 273–379.
- [K7] Petersen, Chr. (1982) *Statik und Stabilität der Baukonstruktionen*. 2. Aufl., Braunschweig: Vieweg.
- [K8] Sedlacek, G.; Eisel, H.; Hensen, W.; Kühn, B.; Paschen, M. (2003) *Leitfaden zum DIN-Fachbericht 103 Stahlbrücken*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [K9] Ungermann, D.; Weynand, K.; Jaspert, J.-P.; Schmidt, B. (2005) *Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2005*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 599–670.
- [K10] Kuhlmann, U.; Rölle, L. (2010) *Verbundanschlüsse nach Eurocode* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2010*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 574–642.
- [K11] Lindner, J.; Stroetmann, R. (2010) *Knicknachweise nach DIN EN 1993-1-1*. Stahlbau 79, H. 11, S. 793–808.
- [K12] DIN 18801:1983-09 (1983) *Stahlhochbau: Bemessung, Konstruktion, Herstellung*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K13] Braun B.; Kuhlmann, U. (2009) *Bemessung und Konstruktion von aus Blechen zusammengesetzten Bauteilen nach DIN EN 1993-1-5* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 381–453.
- [K14] Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Kuhlmann, U. et al. (2008) *Entwicklung und Aufbereitung wirtschaftlicher Bemessungsregeln für Stahl- und Verbundträger mit schlanken Stegblechen im Hoch- und Brückenbau*. DAST-Forschungsbericht, AiF Projekt-Nr. 14 771.
- [K15] Beg, D.; Kuhlmann, U.; Davaine, L.; Braun, B. (2010) *Design of Plated Structures, Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1-5 – Design of Plated Structures*. 1st Edition, veröffentlicht durch ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, Verkauf durch Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- [K16] Brune, B.; Kalameya, J. (2009) *Kaltgeformte, dünnwandige Bauteile und Bleche aus Stahl nach DIN EN 1993-1-3* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 454–527.
- [K17] Kindmann, R.; Frickel, J. (2002) *Elastische und plastische Querschnittstragfähigkeit*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [K18] Lindner, J.; Scheer, J.; Schmidt, H. [Hrsg.] (1998) *Stahlbauten, Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis Teil 4*. 3. Aufl. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [K19] Feldmann, M.; Naumes, J.; Sedlacek, G. (2009) *Biegeknicken und Biegedrillknicken aus der Haupttragebene*. Stahlbau 78, H. 10, S. 764–776.
- [K20] Bijlaard, F.; Feldmann, M.; Naumes, J.; Sedlacek, G. (2010) *The „general method“ for assessing the out-of-plane stability of structural members and frames and the comparison with alternative rules in EN 1993 – Eurocode 3 – Part 1-1*. Steel Construction 3, Vol. 1, pp. 19–33.
- [K21] Roik, K.; Carl, J.; Lindner, J. (1972) *Biegetorsionsprobleme gerader dünnwandiger Stäbe*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [K22] Greiner, R.; Kaim, P. (2003) *Erweiterung der Traglastuntersuchungen an Stäben unter Druck und Biegung auf einfach-symmetrische Querschnitte*. Stahlbau 72, H. 3, S. 173–180.
- [K23] Greiner, R.; Taras, A. (2010) *New design curves for LT and TF buckling with consistent derivation and code-conform formulation*. Steel Construction 3, Vol. 3, pp. 176–186.
- [K24] Kuhlmann, U.; Detzel, A. (2005) *DIN EN 1993-1-1, Allgemeine Nachweiskonzepte mit Berechnungsbeispielen*, in: *Tagungsband der DIN-Tagung Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten nach dem neuen Eurocode 3*. Köln, Berlin: Beuth Verlag.
- [K25] Simoes da Silva, L.; Simoes, R.; Gervasio, H. (2010) *Design of Steel Structures Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings*. ECCS Eurocode Design Manuals, Verkauf durch Verlag Ernst & Sohn, Berlin
- [K26] DIN 18807:1987-06 (1987) *Trapezprofile im Hochbau; Stahltrapezprofile; Teil 1, 2, 3*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V., mit Änderung A1, Mai 2001.
- [K27] Schwarze, K.; Raabe, O. (2009) *Stahlprofiltafeln für Dächer und Wände* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2009*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 761–856.
- [K28] Kindmann, R.; Wolf, Chr.; Beier-Tertel, J. (2008) *Discussion on member imperfections according to Eurocode 3 for stability problems*. Proceedings of 5th European Conference on Steel and Composite structures (Eurosteel 2008), pp. 773–778, Brussels.
- [K29] Greiner, R.; Lindner, J. (2003) *Die neuen Regelungen in der europäischen Norm EN 1993-1-1 für Stäbe unter Druck und Biegung*. Stahlbau 72, H. 3, S. 157–172.
- [K30] Rubin, H. (1978) *Interaktionsbeziehungen zwischen Biegemoment, Querkraft und Normalkraft für einfachsymmetrische I- und Kastquerschnitte bei Biegung um die starke und für doppelsymmetrische Querschnitte bei Biegung um die schwache Achse*. Stahlbau 47, S. 76–85.
- [K31] Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (2010) *Erläuterungen zur Anwendung der Eurocodes vor ihrer Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen*. DIBt Mitteilungen 6/2010. Berlin: Ernst & Sohn, S. 252–257.

- [K32] ÖNORM B 1993-1-12007-02 (2007) *Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1993-1-1, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- [K33] Beg, D.; Sinur, F.; Jurisnivič, B. (2011) *Cross-section classification of angles*. ECCS Technical Working Group 8.3, Präsentation.
- [K34] Greiner, R.; Kettler, M.; Lechner, A. et al. (2008) *SEMI-COMP: Plastic Member Capacity of Semi-Compact Steel Sections – a more Economic Design*. RFSR-CT-2004-00 044, Final Report, Research Programs of the Research Fund for Coal and Steel – RTD.
- [K35] Greiner, R.; Kaim, P.; Taras, A. (2011) *Stabilitätsnachweis von Stäben mit einfach-symmetrischen Querschnitten – Eurocode konforme Regelungen im österreichischen Nationalen Anhang zur EN 1993-1-1*. Stahlbau 80, H. 5, S. 356–363.
- [K36] Seidel, F.; Lindner, J. (2011) *Aussteifung von biegedrillknickgefährdeten Biegeträgern durch zweiseitig gelagerte Trapezprofile*. Stahlbau 80, H. 11. S. 832–838.
- [K37] ECCS TC 7 (1995) *European Recommendations for the application of Metal Sheeting acting as a Diaphragm*. ECCS publication No 88, Brussels.
- [K38] Kouhi, J.; Oneglin, P. (2015) *Proposal for amendments of EN 1993-1-1:2005, AM-1-1-2011-01. The limit on the material thickness of hollow sections* CEN/TC 250/SC 3, Document N2191.
- [K39] Scheuermann, G.; Häusler, V. (2012) *Einwirkungen auf Tragwerke* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2012*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 455–488.
- [K40] Kühn, B.; Stranghöner, N.; Sedlacek, G.; Höhler, S. (2012) *Kommentar zu DIN EN 1993-1-10: Stahlsortenwahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2012*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 355–380.
- [K41] Sedlacek, G.; Höhler, S.; Dahl, W. et al. (2005) *Ersatz des Aufschweißbiegeversuchs durch äquivalente Stahlgütewahl*. Stahlbau 47, H. 7, S. 539–546.
- [K42] DAST-Richtlinie 022 (2016) *Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen*. Düsseldorf: Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Juni 2016.
- [K43] Feldmann, M.; Schäfer, D.; Sedlacek, G. (2010) *Feuerverzinken von tragenden Stahlbauteilen nach DAST-Richtlinie 022 und Bewertung verzinkter Stahlkonstruktionen* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2010*. Berlin: Ernst & Sohn, S. 765–806.
- [K44] Kuhlmann, U.; Feldmann, M.; Lindner, J.; Müller, C.; Stroetmann, R.; Just, A. (2014) *Eurocode 3 – Bemessung von Stahlbauten; Band 1: Allgemeine Regeln und Hochbau* (DIN EN 1993-1-1 mit Nationalem Anhang; Kommentar und Beispiele). bauforumstahl [Hrsg.], Berlin: Beuth/ Ernst & Sohn.
- [K45] DIN V ENV 1993-1-1:1993-04 (1993) *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau*; Deutsche Fassung ENV 1993-1-1:1992. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K46] Brune, B. (2013) *Kommentar zur DIN EN 1993-1-3: Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche* in: Kuhlmann, U. [Hrsg.] *Stahlbau-Kalender 2013*, Berlin: Ernst & Sohn, S. 247–316.
- [K47] Novak, B.; Kuhlmann, U.; Euler, M. (2012) *Werkstoffübergreifendes Entwerfen und Konstruieren – Einwirkung, Widerstand, Tragwerk*. Berlin: Ernst & Sohn.
- [K48] Petersen, Chr. (2012) *Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten*. 4., vollst. überarb. u. akt. Aufl. Springer Vieweg.
- [K49] Wagenknecht, G. (2011) *Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3*. Berlin: Beuth Verlag.
- [K50] Kindmann, R.; Ludwig, Ch. (2012) *Zur Tragfähigkeit von Stabquerschnitten nach DIN EN 1993-1-1 (Teil 1)*. Stahlbau 81, H., S. 257–264.
- [K51] Lindner, J. (2013) *Classification of rolled I-Profiles fabricated in steel grade S 460 within Table 6.2 of EN 1993-1-1*. CEN TC250/SC 3/ Evolution Group EN 1993-1-1, Document [40], Meeting in Zurich, October 2013.
- [K52] Taras, A.; Greiner, R.; Unterweger, H. (2013) *Proposal for amended rules for member buckling and semi-compact cross-section design*, AM-1-1-2012-01 to -05, TC250/SC3 Document N 1898, April 12th, 2013.
- [K53] AM-1-2014-01 (2014) *Buckling curves for L-sections*. CEN/TC 250/SC 3, Document N2017.
- [K54] AM-1-1-2014-01 (2014) *Buckling curves for heavy flange rolled sections*. CEN/TC 250/SC 3, Document N2031.
- [K55] Dokument NA 005-08-16 AA N3118, CEN_TC250_SC3_N3361, FprEN 1993-1-1 Fassung Formal Vote, Juni 2021.
- [K56] Euler, M.; Kuhlmann, U. (2018) *Zur Berücksichtigung der Durchlaufwirkung im Stahlhochbau, Ermittlung der Auflagerkräfte von auf Biegung beanspruchten Bauteilen*. Stahlbau 97, H. 7, S. 704–705.
- [K57] DIN EN 1993-1-3:2010-12 (2010) *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-3: Allgemeine Regeln – Ergänzende Regeln für kaltgeformte Bauteile und Bleche*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e. V.
- [K58] Lindner, J. (1989) *Koordinierung der Bautechnik auf dem Gebiet der Stabstabilität im Stahlbau*. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 400/84, Bericht Nr. 2099, Technische Universität Berlin, Institut für Baukonstruktionen und Festigkeit.
- [K59] Dokument NA 005-08-16 AA N3589 (2023) *DIN EN 1993-1-1/NA Entwurf*, März 2023.
- [K60] AM-1-1-2019-007 (2019) *Effect of shear forces on the bending moment resistance – proposed amendment to prEN 1993-1-1:2018 Cl. 8.2.8*. CEN/TC 250/SC 3, Document N2786 (unveröffentlicht).
- [K61] Kaim, P. (2004) *Spatial buckling behaviour of steel members under bending and compression* [Dissertation]. Technische Universität Graz.