

DIN EN 1993-1-4



ICS 91.010.30; 91.080.13

EntwurfEinsprüche bis 2023-03-27
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1993-1-4:2015-10**Eurocode 3 –
Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten –
Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1993-1-4:2023**Eurocode 3 –
Design of steel structures –
Part 1-4: Stainless steel structures;
German and English version prEN 1993-1-4:2023Eurocode 3 –
Calcul des structures en acier –
Partie 1-4: Structures en acier inoxydable;
Version allemande et anglaise prEN 1993-1-4:2023**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-01-27 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 127 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-4:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

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

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

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1993-1-4:2015-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) das Dokument wurde vollständig überarbeitet;
- b) redaktionelle Anpassungen vorgenommen.

– Entwurf –

2023-03

prEN 1993-1-4:2023

<i>Titel de:</i>	Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen
<i>Titel en:</i>	Eurocode 3 — Design of steel structures — Part 1-4: Stainless steel structures
<i>Titel fr:</i>	Eurocode 3 — Calcul des structures en acier — Partie 1-4: Structures en aciers inoxydables

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
0 Einleitung	5
0.1 Einleitung zu den Eurocodes	5
0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)	5
0.3 Einleitung zu prEN 1993-1-4	7
0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen	7
0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-1-4	7
1 Anwendungsbereich	8
1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-4	8
1.2 Voraussetzungen	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Abkürzungen	9
3.2.1 Allgemeines	9
3.2.2 Lateinische Großbuchstaben	9
3.2.3 Lateinische Kleinbuchstaben	10
3.2.4 Griechische Großbuchstaben	10
3.2.5 Griechische Kleinbuchstaben	10
4 Grundlagen der Bemessung	11
4.1 Allgemeine Bemessungsregeln	11
4.1.1 Grundlegende Anforderungen	11
4.2 Versuchsgestützte Bemessung	12
5 Werkstoffe	12
5.1 Nichtrostende Stähle im Bauwesen	12
5.1.1 Allgemeines	12
5.1.2 Mechanische Eigenschaften	13
5.1.3 Bruchzähigkeit	16
5.1.4 Eigenschaften in Dickenrichtung	20
5.1.5 Werte anderer Werkstoffeigenschaften	20
5.2 Verbindungsmittel	20
5.2.1 Mechanische Verbindungselemente	20
5.2.2 Vorgespannte Schrauben	21
5.2.3 Schweißzusatzwerkstoffe	21
6 Dauerhaftigkeit	21
7 Tragwerksberechnung	21
7.1 Tragwerksmodellierung für die Berechnung	21
7.2 Berechnung des gesamten Tragwerkes	22
7.2.1 Berücksichtigung von Einflüssen nach Theorie II. Ordnung	22
7.3 Imperfektionen	22
7.3.1 Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilbemessung	22
7.3.2 Imperfektionen auf der Grundlage der Knickbiegelineien nach der Elastizitätstheorie	22
7.4 Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung nicht-linearen Werkstoffverhaltens	23
7.4.1 Allgemeines	23

7.4.2	Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie.....	23
7.4.3	Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie	24
7.5	Einstufung in Querschnittsklassen	28
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	33
8.1	Teilsicherheitsbeiwerte.....	33
8.2	Querschnittsbeanspruchbarkeit	33
8.2.1	Allgemeines	33
8.2.2	Wirksame Querschnittswerte.....	34
8.2.3	Druckbeanspruchung	35
8.2.4	Biegemomentenbeanspruchung.....	36
8.2.5	Querkraftbeanspruchung.....	36
8.2.6	Beanspruchbarkeit bei Lasteinleitung von Querlasten in der Blechebene	37
8.2.7	Quersteifen im Steg.....	38
8.3	Stabilitätsnachweise für Bauteile.....	38
8.3.1	Allgemeines	38
8.3.2	Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck.....	38
8.3.3	Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse	39
8.3.4	Durch Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile	41
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	42
9.1	Allgemeines	42
9.2	Ermittlung von Verformungen	43
10	Bemessung von Verbindungen.....	44
10.1	Allgemeines	44
10.2	Schraubenverbindungen	44
10.3	Bemessung von Schweißnähten	48
11	Ermüdung.....	49
12	Feuerwiderstand	49
Anhang A (normativ)	Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit.....	50
A.1	Anwendung dieses Anhangs.....	50
A.2	Anwendungsbereich und Anwendungsfeld	50
A.3	Korrosionsschutz von Bauprodukten — Anforderungen.....	50
A.4	Werkstoffauswahl	50
A.5	Schwimmballenatmosphäre.....	53
A.6	Korrosionsschutz von Verbindungen mit anderen Metallen.....	54
A.7	Verzinkung und Kontakt mit geschmolzenem Zink	54
Anhang B (normativ)	Verformungsbasierte Bemessung (Continuous strength method – CSM)	55
B.1	Anwendung dieses Anhangs.....	55
B.2	Anwendungsbereich und Anwendungsfeld	55
B.3	Allgemeines	55
B.4	Werkstoffmodellierung.....	55
B.5	Querschnittsverformungsvermögen.....	56
B.5.1	Grundlinie	56
B.5.2	Schlankheitsgrad des Querschnittes	57
B.6	Querschnittstragfähigkeit	58
B.6.1	Zug.....	58
B.6.2	Druck.....	58
B.6.3	Biegung.....	58
B.6.4	Kombinierte Biegung und Normalkraft	60
Literaturhinweise.....		62

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1993-1-4:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1993-1-4:2006 und dessen Änderungen ersetzen.

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

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

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

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu den Eurocodes

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

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

Die Eurocodes sind für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 Einleitung zu EN 1993 (alle Teile)

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

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

EN 1993 ist in folgende Teile unterteilt:

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

EN 1993-2, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 2: Stahlbrücken*;

EN 1993-3, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 3: Türme, Maste und Schornsteine*;

EN 1993-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 4: Silos und Tankbauwerke*;

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

EN 1993-6, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 6: Kranbahnen*;

EN 1993-7, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 7: Bemessung von Sandwich-Paneelen*.

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

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

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

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

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

EN 1993-1-4, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-4: Tragwerke aus nichtrostenden Stählen*;

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

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

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

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

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

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

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

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

EN 1993-1-13, *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-13: Regeln für Träger mit großen Stegöffnungen*;

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

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

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

0.3 Einleitung zu prEN 1993-1-4

prEN 1993-1-4 enthält ergänzende Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlbauwerken, welche die Anwendung von EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8 bezüglich nichtrostenden Stahl erweitern und abändern. Das Hauptaugenmerk liegt auf den Verfahren und Regeln für die Bemessung von Bauteilen und Grundgerüsten im Hinblick auf Tragfähigkeit und Stabilität.

0.4 In den Eurocodes verwendete Verbformen

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

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

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

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

0.5 Nationaler Anhang zu prEN 1993-1-4

Nationale Festlegungen sind in dieser Norm zulässig, wo dies ausdrücklich in Anmerkungen angegeben wird. Nationale Festlegungen umfassen die Auswahl der Werte für national festzulegende Parameter (NDP, en: nationally determined parameters).

Die jeweilige nationale Ausgabe von prEN 1993-1-4 kann einen Nationalen Anhang mit allen nationalen Festlegungen enthalten, die für den Entwurf und die Bemessung von zu errichtenden Stahlbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung angeführt, ist die in dieser Norm angegebene Standardfestlegung anzuwenden.

Wenn keine nationale Festlegung angeführt wird und keine Standardfestlegung in dieser Norm angegeben ist, kann die Festlegung durch eine zuständige Behörde getroffen werden, oder sofern keine Festlegungen getroffen wurden, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung treffen.

Nationale Festlegungen sind in prEN 1993-1-4 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

5.1.1(1)	5.2.2(1)	7.2.1(1)	7.4.3.5(3)
8.1(1)	A.2(8)	A.3, Tabelle A.4	

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

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von prEN 1993-1-4

(1) Dieses Dokument enthält ergänzende Regeln für die Tragwerksbemessung von Stahlbauten, die die Anwendung von EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8 auf austenitische nichtrostende Stähle, (austenitisch-ferritische) nichtrostende Duplexstähle und ferritische nichtrostende Stähle erweitern und abändern.

ANMERKUNG 1 Austenitisch-ferritische nichtrostende Stähle sind allgemein bekannt als nichtrostende Duplexstähle. In dieser Norm wird die Benennung nichtrostender Duplexstahl verwendet.

ANMERKUNG 2 Informationen zur Dauerhaftigkeit von nichtrostenden Stählen sind in Anhang A enthalten.

ANMERKUNG 3 Die Ausführung von Tragwerken aus nichtrostenden Stählen wird in EN 1090-2 und EN 1090-4 behandelt.

1.2 Voraussetzungen

(1) Sofern nicht spezifisch angegeben, gelten EN 1990, EN 1991 (alle Teile), EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8.

(2) Die in prEN 1993-1-4 angegebenen Bemessungsverfahren sind anwendbar, wenn

- die Qualität der Ausführung den Festlegungen von EN 1090-2 und EN 1090-4 entspricht, und
- die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte den Festlegungen von EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8, oder den maßgebenden Baustoff- und Produktspezifikationen entsprechen.

2 Normative Verweisungen

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

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

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

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

EN 1990, *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung*

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

EN 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

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

EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*

EN 1993-1-8, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8.

3.2 Symbole und Abkürzungen

3.2.1 Allgemeines

Zusätzlich zu den in EN 1990, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8 angegebenen Symbolen werden folgende Symbole verwendet.

3.2.2 Lateinische Großbuchstaben

A_c	gesamte Eckquerschnittsfläche des Profils
CRF	Korrosionsbeständigkeitsfaktor (en: corrosion resistance factor)
CSM	Verformungsbasierte Bemessung (en: continuous strength method)
C_1, C_2, C_3	Werkstoffkoeffizienten für die Beschreibung des CSM-Werkstoffmodells
E_s	Sekantenmodul
E_{sh}	Verfestigungsmodul
$E_{s,ser}$	elastischer Sekantenmodul für Berechnungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
$E_{s,1}$	Sekantenmodul zugehörig zur Spannung im Zugflansch
$E_{s,2}$	Sekantenmodul zugehörig zur Spannung im Druckflansch
$F_{p,S}$	Vorspannkraft für Schrauben
F_{Rd}	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit des Bauteils, berechnet anhand von F_{Rk}
F_{Rk}	charakteristischer Wert der Beanspruchbarkeit des Bauteils als Spitzenwert aus einer Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie oder als Punkt, bei dem die CSM-Grenzdehnung erreicht wird, wobei der kleinere Wert gilt
F_1	Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen (Streusalz)
F_2	Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid
F_3	Reinigungskonzept oder Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen
K	seitliche Anfangssteifigkeit des Bauwerks
K_s	seitliche Sekantensteifigkeit des Bauwerks unter Bemessungsbeanspruchung
KV	Kerbschlagarbeit in Joule [J] aus einer Charpy-V-Kerbprobe
$L_{b,cs}$	lokale Beulhalbwellenlänge

M	Abstand vom Meer
$M_{\text{csm,Rd}}$	Bemessungswert der CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um eine Hauptachse eines Querschnittes
$M_{\text{csm,y,Rd}}$	Bemessungswert der CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die starke (y-y)-Achse
$M_{\text{csm,z,Rd}}$	Bemessungswert der CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die schwache (z-z)-Achse
$M_{\text{N,csm,y,Rd}}$	Bemessungswert der abgeminderten CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die starke (y-y)-Achse zur Berücksichtigung einer vorhandenen Axialkraft
$M_{\text{N,csm,z,Rd}}$	Bemessungswert der abgeminderten CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die schwache (z-z)-Achse zur Berücksichtigung einer vorhandenen Axialkraft
$N_{\text{csm,Rd}}$	Bemessungswert der CSM-Normalkraftbeanspruchbarkeit des Querschnittes bei gleichförmigem Druck
$N_{\text{csm,t,Rd}}$	Bemessungswert der CSM-Normalkraftbeanspruchbarkeit unter Zugbeanspruchung
$R_{p0,2}$	Spannung, bei der die plastische Dehnung 0,2 % beträgt (d. h. 0,2 %-Dehngrenze), übernommen aus der Produktnorm
S	Abstand von Straßen mit Einsatz von Auftausalzen (Streusalz)
Y	Faktor, der den Steifigkeitsverlust aufgrund von Einflüssen nach Theorie II. Ordnung annähert

3.2.3 Lateinische Kleinbuchstaben

f_{ua}	durchschnittliche Zugfestigkeit unter Berücksichtigung der Verfestigung infolge Kaltumformung
f_{ub}	Nenn-Zugfestigkeit von Schrauben aus nichtrostendem Stahl
f_{yb}	Nenn-Streckgrenze von Schrauben aus nichtrostendem Stahl
f_{yCHS}	erhöhte Streckgrenze eines kaltgewalzten runden Hohlprofils
f_{yc}	erhöhte Streckgrenze des Eckbereiches
f_{yf}	erhöhte Streckgrenze der flachen Abschnitte von kaltgewalzten rechteckigen Hohlprofilen
k_s	Koeffizient für die Berechnung des Gleitwiderstandes von gleitfesten Verbindungen
n	Verfestigungsexponent
n_c	Anzahl von 90°-Ecken des Profils
n_{csm}	Verhältnis des Bemessungswertes der Normalkraft (Druck) N_{Ed} zum Bemessungswert der CSM-Normalkraftbeanspruchbarkeit (Druck) $N_{\text{csm,Rd}}$
n_p	Exponent für die Berechnung der erhöhten Streckgrenze

3.2.4 Griechische Großbuchstaben

Ω	projektspezifischer Parameter, der den zulässigen Grad der plastischen Verformung festlegt
----------	--

3.2.5 Griechische Kleinbuchstaben

α	CSM-Biegeparameter
----------	--------------------

$\alpha_{cr,sw,mod}$	modifizierter Faktor, mit dem der Bemessungswert der Belastung erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks am globalen seitlich verschieblichen System zu erreichen, um den Einfluss der Plastizität auf die seitlich verschiebliche Steifigkeit des Rahmens zu berücksichtigen
α_{csm}	CSM-Interaktionskoeffizient für zweiachsige Biegung
β_{csm}	CSM-Interaktionskoeffizient für zweiachsige Biegung
β_w	Korrelationsbeiwert für Verbindungen mit Kehlnähten
ε_{CHS}	während der Umformung in einem runden Hohlprofil eingebrachte Dehnung
ε_c	während der Umformung eingebrachte Dehnung im Eckbereich
ε_{csm}	Grenzdehnung (Druck) für die verformungsbasierte Bemessung (CSM)
$\varepsilon_{csm,max}$	maximaler Bemessungswert der CSM-Dehnung
$\varepsilon_{csm,t}$	maximal erreichbarer Wert der CSM-Zugdehnung
ε_{Ed}	Bemessungsdehnung
ε_f	während der Umformung eingebrachte Dehnung in den flachen Abschnitten von rechteckigen Hohlquerschnitten
$\varepsilon_{p0,2}$	Gesamtdehnung zugehörig zur 0,2 %-Dehngrenze
ε_u	Bruchdehnung zugehörig zur Zugfestigkeit f_u
ε_y	elastische Dehnung an der Streckgrenze
$\bar{\lambda}_0$	bezogene Grenzschlankheit
$\bar{\lambda}_m$	bezogener Schlankheitsgrad des Bauteils, ermittelt am kritischen Querschnitt m
$\bar{\lambda}_{c,cs}$	Schlankheitsgrad des Querschnittes für runde Hohlprofile
$\bar{\lambda}_{p,cs}$	Schlankheitsgrad des Querschnittes für Profile aus flachen Blechen
μ	Haftreibungszahl
ρ_{csm}	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Interaktion zwischen Biegung und Schub
$\sigma_{cr,c}$	elastische Beulspannung des vollständigen Querschnittes des runden Hohlprofils
$\sigma_{cr,cs}$	elastische lokale Beulspannung des vollständigen Querschnittes
$\sigma_{i,Ed,ser}$	Bemessungswert der Normalspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

4 Grundlagen der Bemessung

4.1 Allgemeine Bemessungsregeln

4.1.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Bemessung von Tragwerken aus nichtrostendem Stahl muss in Übereinstimmung mit den allgemeinen Regeln von EN 1990 und EN 1991 (alle Teile) sowie mit den spezifischen Bemessungsvorschriften für Stahltragwerke nach EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 und EN 1993-1-8 erfolgen.

(2) Stahltragwerke, die nach diesem Dokument bemessen und konstruiert werden, müssen nach EN 1090-2 und EN 1090-4 mit den in den zutreffenden Teilen von EN 1993 oder in den maßgebenden Werkstoff- und Produktspezifikationen festgelegten Baustoffen und -produkten ausgeführt werden.

4.2 Versuchsgestützte Bemessung

(1) Versuchskörper sollten auf ähnliche Art und Weise wie die Komponenten des Endproduktes hergestellt werden, so dass sich dieselben Verfestigungsgrade einstellen.

(2) Aufgrund der Anisotropie von kaltverformten nichtrostenden Stählen sollten die Versuchskörper aus Platten oder Blechen mit gleicher Orientierung zur Walzrichtung wie für das Tragwerk beabsichtigt hergestellt werden (d. h. senkrecht oder parallel zur Walzrichtung). Ist die endgültige Walzrichtung nicht bekannt oder kann sie nicht garantiert werden, sollten Versuche für beide Walzrichtungen durchgeführt und das ungünstigste Ergebnis zugrunde gelegt werden.

5 Werkstoffe

5.1 Nichtrostende Stähle im Bauwesen

5.1.1 Allgemeines

(1) Für die Bemessung von Tragwerken aus austenitischem nichtrostenden Stahl, aus nichtrostendem Duplexstahl und aus ferritischem nichtrostenden Stahl nach diesem Dokument sollte der Werkstoff einer der in Tabelle A.3 angegebenen Stahlsorten und einer der Produktnormen EN 10088, EN 10028-7, EN 10296-2 und EN 10297-2 entsprechen.

ANMERKUNG 1 Die gebräuchlichsten Sorten nichtrostender Stähle von Tabelle A.3 sind in Tabelle 5.1 entsprechend ihrer Korrosionsbeständigkeitsklasse und ihrer Festigkeitsklasse aufgeführt.

ANMERKUNG 2 Andere Sorten nichtrostender Stähle und andere Erzeugnisse können im Nationalen Anhang festgelegt sein.

(2) Falls andere Sorten nichtrostender Stähle als die in (1) genannten verwendet werden, müssen ihre mechanischen Eigenschaften - bei Prüfung in Übereinstimmung mit den einschlägigen EN-, ISO- oder EN ISO-Prüfnormen - die in 5.1.2.1(4), 5.1.3 und 5.1.4 angegebenen Anforderungen erfüllen. Sofern maßgebend, sollte eine fachliche Beratung in Bezug auf Dauerhaftigkeit, Fertigung, Schweißbarkeit, Ermüdungsfestigkeit und Verhalten bei hohen Temperaturen dieser Stahlsorten hinzugezogen werden.

Tabelle 5.1 — Festigkeits- und Korrosionsbeständigkeitsklassen für gebräuchliche nichtrostende Stähle

Korrosions- beständigkeitsklasse (siehe Anhang A)	Festigkeitsklasse			
	SC210		SC450	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
	210	500	450	650
I	1.4003 ^a (F)			
II	1.4301 (A) 1.4307 (A)		1.4482 (D)	
III	1.4401 (A) 1.4404 (A) 1.4435 (A) 1.4571 (A)		1.4162 (D) 1.4362 ^b (D) 1.4062 (D)	

Korrosions- beständigkeitsklasse (siehe Anhang A)	Festigkeitsklasse			
	SC210		SC450	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
	210	500	450	650
IV			1.4462 (D) 1.4662 (D)	
V			1.4410 (D) 1.4501 (D)	
ANMERKUNG 1 Nichtrostende Stähle: F = ferritisch, A = austenitisch und D = Duplex.				
ANMERKUNG 2 Die gebräuchlichsten austenitischen nichtrostenden Stähle sind 1.4301/1.4307 und 1.4401/1.4404.				
ANMERKUNG 3 Die Festigkeiten beziehen sich auf Bleche, Platten und Bänder sowie auf die daraus hergestellten Produkte. Die Festigkeiten beziehen sich auch auf kaltgeformte Hohlprofile ohne Berücksichtigung der durch die Fertigung bedingten Festigkeitssteigerung.				
ANMERKUNG 4 Für Stangen, warmgewalzte offene Profile und nahtlose Rohre beträgt $f_y = 180$ N/mm ² für die Stahlsorten der Festigkeitsklasse SC210, während EN 10088 die Werte für f_y für die Stahlsorten der Festigkeitsklasse SC450 enthält.				
ANMERKUNG 5 Tabelle A.3 enthält eine größere Auswahl nichtrostender Stähle und ordnet diese in Korrosionsbeständigkeitsklassen ein.				
^a $f_y = 250$ N/mm ² bis 280 N/mm ² für 1.4003, je nach Erzeugnisform, und $f_u = 450$ N/mm ² . Für Stäbe gelten ausschließlich die f_u -Werte.				
^b $f_y = 400$ N/mm ²				

5.1.2 Mechanische Eigenschaften

5.1.2.1 Allgemeines

(1) Die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für nichtrostenden Stahl sollten wie folgt ermittelt werden:

- a) entweder durch Anwendung der Festigkeitsklassen von Tabelle 5.1;
- b) oder durch direkte Übernahme der Werte $f_y = R_{p0,2}$ und $f_u = R_m$ (als die Untergrenze des angegebenen Bereiches) aus der Produktnorm.

ANMERKUNG In Abhängigkeit von der Erzeugnisform kann die Produktnorm höhere Festigkeitswerte als die in Tabelle 5.1 angegebenen enthalten.

Die Festigkeiten der Stahlsorten, die nicht in Tabelle 5.1 aufgeführt sind, sollten der Produktnorm entnommen werden.

(2) Höhere Festigkeitswerte können sich bei der Kaltverformung von Blechen, wie in 5.1.2.2 und Tabelle 5.2 angeben, oder bei der Herstellung von kaltverformten Profilen, wie in 5.1.2.3 angegeben, ergeben.

(3) Die Festigkeitssteigerung durch Kaltumformung sollte nicht bei Bauteilen angewendet werden, die geschweißt werden oder die einer Wärmebehandlung unterzogen werden, es sei denn, die örtlich begrenzte Festigkeitsminderung durch Glühen wird anhand von Versuchen am vollständigen Querschnitt bestimmt.

(4) Die Duktilitätsanforderungen von EN 1993-1-1 müssen auch für nichtrostende Stähle angewendet werden. Von Stählen, die mit einer der in Tabelle 5.1 aufgeführten Stahlsorte übereinstimmen, darf angenommen werden, dass sie diesen Anforderungen entsprechen. In Tabelle 5.2 aufgeführte Stähle sollten festgelegte Eigenschaften aufweisen, die die Duktilitätsanforderungen von EN 1993-1-1 erfüllen.

(5) Wenn die Bauteiltragfähigkeit durch Kaltverformung erhöht wird (siehe 5.1.2.3), sollte die Bemessung der Anschlüsse unter Berücksichtigung dieser erhöhten Bauteiltragfähigkeit erfolgen, besonders dann, wenn eine Kapazitätsbemessung erforderlich ist.

5.1.2.2 Kaltverfestigte Werkstoffe

(1) Dieses Dokument behandelt die Bemessung von austenitischem nichtrostenden Stahl in den kaltverfestigten Zuständen CP350 und CP500. Die Nennwerte der Streckgrenze und der Zugfestigkeit sind in Tabelle 5.2 angegeben.

(2) Entsprechend EN 10088-4 legt die CP-Klassifizierung nur die erforderliche 0,2 %-Dehngrenze, f_y , fest. Deshalb sollte der Stahl festgelegte Eigenschaften aufweisen, die die tabellierten konservativen Werte für die Zugfestigkeit, f_u , erfüllen, sofern nicht durch eine Musterprüfung die Zulässigkeit höherer Werte nachgewiesen wird.

Tabelle 5.2 — Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für kaltverfestigte austenitische nichtrostende Stähle

Kaltverfestigter Zustand	f_y (N/mm ²) ^a			f_u (N/mm ²)
	Stahlsorte	Zug	Druck	
CP350	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	350	315	600
CP500	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	470	350	650
	1.4318	430		

^a EN 10088 enthält die festgelegten Mindestwerte für die 0,2 %-Dehngrenzen bei Zugbeanspruchung von 350 N/mm² und 500 N/mm² in Querrichtung für CP350 bzw. CP500. Die in dieser Tabelle angegebenen abgeminderten Werte für f_y berücksichtigen die Anisotropie und das asymmetrische Verhalten des kaltverfestigten Werkstoffes. Für f_u ist keine Abminderung erforderlich.

5.1.2.3 Werkstoffeigenschaften von kaltumgeformten Profilen und Blechen

(1) Anstelle von f_y und f_u dürfen eine durchschnittliche Streckgrenze f_{ya} und eine durchschnittliche Zugfestigkeit f_{ua} verwendet werden, um die Festigkeitssteigerung zu berücksichtigen, die bei der Herstellung von kaltumgeformten Profilen erzielt wird, außer für Werkstoffe in den kaltverfestigten Zuständen CP350 und CP500 (siehe Tabelle 5.2).

(2) f_{ya} ergibt sich aus:

$$f_{ya} = \frac{f_{yc} A_c + f_{yf}(A - A_c)}{A} \quad \begin{array}{l} \text{Für gekantete Profile oder kaltgewalzte} \\ \text{rechteckige Hohlprofile} \end{array} \quad (5.1)$$

$$f_{ya} = f_{yCHS} \quad \text{für kaltgewalzte runde Hohlprofile} \quad (5.2)$$

Dabei ist

A die Gesamtquerschnittsfläche des Profils;

A_c die gesamte Eckquerschnittsfläche des Profils, die sich wie folgt ergibt:

$$A_c = \left(n_c \pi \frac{t}{4} \right) (2r + t) \quad \text{für gekantete Profile} \quad (5.3)$$

$$A_c = \left(n_c \pi \frac{t}{4} \right) (2r + t) + 4n_c t^2 \quad \text{für kaltgewalzte rechteckige Hohlprofile} \quad (5.4)$$

Dabei ist

n_c die Anzahl der 90°-Ecken dieses Profils;

r der innere Biegeradius, der mit $2t$ angesetzt werden darf, sofern er nicht bekannt ist;

f_{yc} die erhöhte Streckgrenze im Eckbereich, ermittelt durch:

$$f_{yc} = 0,85 f_y \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{aber} \quad f_y \leq f_{yc} \leq f_u \quad (5.5)$$

f_{yf} die erhöhte Streckgrenze in den flächigen Abschnitten von kaltgewalzten rechteckigen Hohlprofilen, ermittelt mit Gleichung (5.6). Bei gekanteten Profilen sollte f_{yf} als f_y angesetzt werden.

$$f_{yf} = 0,85 f_y \left(\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{aber} \quad f_y \leq f_{yf} \leq f_u \quad (5.6)$$

f_y die Streckgrenze des Grundwerkstoffes (siehe 5.1.2.1(1));

f_{yCHS} die erhöhte Streckgrenze eines kaltgewalzten runden Hohlprofils, ermittelt durch:

$$f_{yCHS} = 0,85 f_y \left(\frac{\varepsilon_{CHS}}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{aber} \quad f_y \leq f_{yCHS} \leq f_u \quad (5.7)$$

Dabei ist

$$n_p = \frac{\ln(f_y/f_u)}{\ln(\varepsilon_{p0,2}/\varepsilon_u)} \quad (5.8)$$

$$\varepsilon_{p0,2} = 0,002 + \frac{f_y}{E} \quad (5.9)$$

E der Elastizitätsmodul, siehe 5.1.5;

f_u die Zugfestigkeit des Grundwerkstoffes (siehe 5.1.2.1(1));

ε_c die Dehnung im Eckbereich, die während der Profilumformung eingebracht wird, die sich wie folgt ergibt:

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2(2r + t)} \quad (5.10)$$

ε_f die Dehnung in den flachen Abschnitten von rechteckigen Hohlprofilen, die während der Profilumformung eingebracht wird die sich mit Gleichung (5.11) ergibt, wobei alle Maße in Millimeter angegeben werden müssen:

$$\varepsilon_f = \left[\frac{t}{900} \right] + \left[\frac{\pi t}{2(b + h - 2t)} \right] \quad (5.11)$$

ε_{CHS} die Dehnung in einem runden Hohlprofil, die während der Profilumformung eingebracht wird, ermittelt durch:

$$\varepsilon_{CHS} = \frac{t}{2(d - t)} \quad (5.12)$$

ε_u die Bruchdehnung, zugehörig zur Zugfestigkeit f_u , die näherungsweise wie folgt bestimmt werden darf:

a) für austenitische nichtrostende Stähle und nichtrostende Duplexstähle

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u} \quad \text{aber} \quad \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (5.13)$$

b) für ferritische nichtrostende Stähle

$$\varepsilon_u = 0,6 \left[1 - \frac{f_y}{f_u} \right] \quad \text{aber} \quad \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (5.14)$$

ε_f die Bruchdehnung, wie in der Produktnorm definiert.

(3) f_{ua} ergibt sich aus:

a) für austenitische nichtrostende Stähle und nichtrostende Duplexstähle

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0,20 + 185 \frac{f_{ya}}{E}} \quad (5.15)$$

b) für ferritische nichtrostende Stähle

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0,46 + 145 \frac{f_{ya}}{E}} \quad (5.16)$$

5.1.3 Bruchzähigkeit

(1) Austenitische nichtrostende Stähle, ferritische nichtrostende Stähle und nichtrostende Duplexstähle besitzen unterschiedliche Bruchzähigkeiten.

ANMERKUNG Informationen zur Versprödung infolge des Kontaktes mit flüssigem Zink sind in A.5 angegeben.

(2) Von den austenitischen nichtrostenden Stählen, die in diesem Dokument behandelt werden, darf angenommen werden, dass sie eine ausreichende Bruchzähigkeit aufweisen und Sprödbbruch von zugbeanspruchten Bauteilen bei Betriebstemperaturen bis zu -50°C somit vermieden wird.

Falls die Stahlsorten 1.4301, 1.4307, 1.4311, 1.4318 oder 1.4306 stark kaltverfestigt werden, sollte nachgewiesen werden, dass die Bruchzähigkeit des Werkstoffes bei einer Dicke über 10 mm nicht kleiner ist als der kleinste KV-Wert, der in EN 10088-4 oder EN 10088-5 festgelegt ist.

(3) Falls austenitische nichtrostende Stähle bei Temperaturen unter -50 °C verwendet werden, sollte anhand von Prüfungen nachgewiesen werden, dass der Werkstoff nach den erforderlichen Fertigungsschritten einen KV-Wert von mindestens 40 J bei der niedrigsten Betriebstemperatur besitzt.

(4) Von den in diesem Dokument behandelten ferritischen nichtrostenden Stählen darf angenommen werden, dass sie eine ausreichende Bruchzähigkeit besitzen und Sprödbbruch vermieden wird, wenn die Dicke der zugbeanspruchten Bauteile $t \leq 5\text{ mm}$ beträgt. Wenn $t > 5\text{ mm}$, sollte der Nachweis einer ausreichenden Bruchzähigkeit erbracht werden, indem das bruchmechanisch basierte Konzept der EN 1993-1-10 angewendet wird.

(5) Für die in diesem Dokument behandelten nichtrostenden Duplexstähle enthalten Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 die höchstzulässigen Erzeugnisdicken als Funktion der Stahlfestigkeit, der Anforderungen an die Bruchzähigkeit im Sinne des KV-Wertes, der aufgetragenen Spannung σ_{Ed} und der Bezugstemperatur T_{Ed} . Tabelle 5.3 gilt für die Ausführungsklassen EXC3 und EXC4, und Tabelle 5.4 gilt für die Ausführungsklassen EXC1 und EXC2.

Da EN 10088 keine CVN-Anforderungen bei niedrigen Temperaturen enthält, sind in Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 die höchstzulässigen Werte der Erzeugnisdicke für vier Bruchzähigkeitsanforderungen, TR1 bis TR4, festgelegt. Der Bemessungsingenieur muss die mindestens erforderliche Bruchzähigkeitsanforderung festlegen, die für die jeweilige Anwendung geeignet sind.

σ_{Ed} und T_{Ed} sollten nach EN 1993-1-10 berechnet werden. Die Werte in den Tabellen basieren auf den Annahmen von EN 1993-1-10.

$f_y(t) = f_y - 0,25(t/t_0)$ mit $t_0 = 1\text{ mm}$, oder $f_y(t)$ darf als $R_{p0,2}$ aus der Produktnorm übernommen werden.

ANMERKUNG Tabelle 5.3 und Tabelle 5.4 behandeln keine kaltgeformten Profile und Bleche.

(6) Falls erforderlich, müssen Prüfungen durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass nichtrostende Duplexstähle bei der nach Tabelle 5.3 oder Tabelle 5.4 für die jeweilige Güte gewählten Prüftemperatur einen KV-Wert von mindestens 40 J besitzen.

Tabelle 5.3 — Höchstzulässige Werte der Erzeugnisdicke t , in mm, für nichtrostenden Duplexstahl in den Ausführungsklassen EXC3 und EXC4

Stahlsorte	f_y N/mm ² (warm- gewalz- tes Blech)	Bruch- zähigkeits- anforde- rung	KV		Bezugstemperatur T_{Ed} [°C]																					
			bei T	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	
			[°C]	[J]	$\sigma_{Ed} = 0,75f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,50f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,25f_y(t)$					
1.4062, 1.4162, 1.4482	450	TR1	-20	40	70	60	45	40	30	25	20	120	100	85	70	55	45	40	185	160	140	120	105	90	75	
		TR2	-30	40	85	70	60	45	40	30	25	140	120	100	85	70	55	45	200	185	160	140	120	105	90	
1.4662	480	TR1	-20	40	65	55	45	35	30	20	15	110	95	80	65	55	45	35	180	155	135	115	100	85	70	
		TR2	-30	40	80	65	55	45	35	30	20	130	110	95	80	65	55	45	200	180	155	135	115	100	85	
1.4362	400	TR3	-40	40	110	95	80	65	50	40	35	175	150	130	110	90	75	65	200	200	195	170	150	130	110	
		TR4	-50	40	130	110	95	80	65	50	40	200	175	150	130	110	90	75	200	200	200	195	170	150	130	
1.4462	460	TR3	-40	40	100	85	70	55	45	35	30	160	135	115	95	80	70	55	200	200	185	160	140	120	100	
		TR4	-50	40	120	100	85	70	55	45	35	185	160	135	115	95	80	70	200	200	200	185	160	140	120	
1.4410, 1.4501, 1.4507	530	TR3	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	145	125	105	85	70	60	50	200	195	170	150	125	110	95	
		TR4	-50	40	110	90	75	60	50	40	30	170	145	125	105	85	70	60	200	200	195	170	150	125	110	
ANMERKUNG 1 Es kann linear interpoliert werden. Die meisten Anwendungen fordern σ_{Ed} -Werte zwischen $0,75 f_y(t)$ und $0,50 f_y(t)$. $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$ ist für Zwecke der Interpolation und zur Anwendung für Elemente unter Druckspannung angegeben.																										
ANMERKUNG 2 Die höchstzulässigen Werte der Erzeugnisdicke t sind auf 200 mm begrenzt. Die in den Tabellen angegebenen Dickenwerte können den oberen Grenzwert der Dicke, der in den einschlägigen Produktnormen angegeben ist, überschreiten.																										

Tabelle 5.4 — Höchstzulässige Werte der Erzeugnisdicke t , in mm, für nichtrostenden Duplexstahl in den Ausführungsklassen EXC1 und EXC2

Stahlsorte	f_y N/mm ² (warm- gewalz- tes Blech)	Bruch- zähigkeits- anfor- derung	KV		Bezugstemperatur T_{Ed} [°C]																				
			bei T	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
			[°C]	[J]	$\sigma_{Ed} = 0,75f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,50f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,25f_y(t)$				
1.4062, 1.4162, 1.4482	450	TR1	-20	40	200	200	200	150	105	75	50	200	200	200	200	200	195	140	200	200	200	200	200	200	200
		TR2	-30	40	200	200	200	200	150	105	75	200	200	200	200	200	200	195	200	200	200	200	200	200	200
1.4662	480	TR1	-20	40	200	200	195	135	95	65	45	200	200	200	200	200	175	125	200	200	200	200	200	200	200
		TR2	-30	40	200	200	200	195	135	95	65	200	200	200	200	200	200	175	200	200	200	200	200	200	200
1.4362	400	TR3	-40	40	200	200	200	200	200	185	130	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	200	185	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
1.4462	460	TR3	-40	40	200	200	200	200	200	145	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	200	145	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
1.4410, 1.4501, 1.4507	530	TR3	-40	40	200	200	200	200	160	110	80	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	160	110	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

ANMERKUNG 1

Es kann linear interpoliert werden. Die meisten Anwendungen fordern σ_{Ed} -Werte zwischen $0,75 f_y(t)$ und $0,50 f_y(t)$. $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$ ist für Zwecke der Interpolation und zur Anwendung für Elemente unter Druckspannung angegeben.

ANMERKUNG 2

Die höchstzulässigen Werte der Erzeugnisdicke t sind auf 200 mm begrenzt. Die in den Tabellen angegebenen Dickenwerte können den oberen Grenzwert der Dicke, der in den einschlägigen Produktnormen angegeben ist, überschreiten.

5.1.4 Eigenschaften in Dickenrichtung

(1) Für austenitische nichtrostende Stähle und nichtrostende Duplexstähle ist es nicht notwendig, verbesserte Eigenschaften in Dickenrichtung für die Werkstoffe festzulegen, weil sie keinen Terrassenbruch zeigen.

(2) Wenn ein Blech aus ferritischem nichtrostenden Stahl mit einer Dicke über 20 mm in geschweißten T-, Kreuz- oder Eckverbindungen verwendet wird, sollten die Hinweise zur Auswahl der Eigenschaften in Dickenrichtung von EN 1993-1-10 befolgt werden. Der niedrige Schwefelgehalt dieser nichtrostenden Stähle bedeutet jedoch, dass ein Terrassenbruch unwahrscheinlich ist.

5.1.5 Werte anderer Werkstoffeigenschaften

(1) Die Werkstoffeigenschaften, die in den Berechnungen zu verwenden sind, sollten als die folgenden Mittelwerte für nichtrostende Stähle angesetzt werden:

Elastizitätsmodul $E = 200\,000\text{ N/mm}^2$

Schubmodul $G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 77\,000\text{ N/mm}^2$

Poisson'sche Zahl $\nu = 0,3$

Wärmeausdehnungskoeffizient
(für $T \leq 100^\circ\text{C}$) $\alpha_T = 16 \times 10^{-6}\text{ je K}$ für austenitische nichtrostende Stähle

$\alpha_T = 13 \times 10^{-6}\text{ je K}$ für nichtrostende Duplexstähle

$\alpha_T = 10 \times 10^{-6}\text{ je K}$ für ferritische nichtrostende Stähle

(2) Spannungs-Dehnungs-Kurven nach prEN 1993-1-14:2022 dürfen zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens verwendet werden.

(3) Der Werkstoffparameter ε ist wie folgt festgelegt:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (5.18)$$

(4) Zur Berechnung der Verformungen von Einzelbauteilen darf der Sekantenmodul, der zur Bauteilspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gehört, verwendet werden, siehe 9.2(5).

5.2 Verbindungsmittel

5.2.1 Mechanische Verbindungselemente

(1) Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl sollten EN ISO 3506-1 und EN ISO 3506-2 entsprechen. Unterlegscheiben sollten aus nichtrostendem Stahl bestehen und sollten EN ISO 7089 oder EN ISO 7090 entsprechen. Die Korrosionsbeständigkeit der Schrauben sollte der Korrosionsbeständigkeit des Grundmaterials entsprechen oder besser sein.

(2) Die Nennwerte für Streckgrenze f_{yb} und Zugfestigkeit f_{ub} für Schrauben aus nichtrostendem Stahl sollten Tabelle 5.5 entnommen werden.

Tabelle 5.5 — Nennwerte für f_{yb} und f_{ub} für Schrauben aus nichtrostendem Stahl

Werkstoffgruppen	Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506	Streckgrenze f_{yb} N/mm²	Zugfestigkeit f_{ub} N/mm²
Austenitisch	50	210	500
Austenitisch und Duplex	70	450	700
Austenitisch und Duplex	80	600	800
Austenitisch und Duplex	100	800	1 000

5.2.2 Vorgespannte Schrauben

(1) Schraubengarnituren der Festigkeitsklassen 80 und 100 aus austenitischem nichtrostenden Stahl und nichtrostendem Duplexstahl dürfen als vorgespannte Schraubengarnituren in gleitfesten Verbindungen verwendet werden. Deren Eignung zum Vorspannen muss nachgewiesen werden, und die Anziehparameter müssen mithilfe einer Verfahrensprüfung zur Qualifizierung der Verschraubung abgeleitet werden. Die Verfahrensprüfung zur Qualifizierung der Verschraubung muss die Garnitur für die Schraubverbindung, das Anziehverfahren, die Anziehparameter, die Vorspannkraftverluste und die Anforderungen an die Inspektion festlegen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann die Auswahlprüfung des Verschraubungsverfahrens festlegen. CEN/TS XXXX, *Bolt tightening qualification procedure for stainless steel preloaded bolts* ist derzeit in Vorbereitung.

5.2.3 Schweißzusatzwerkstoffe

(1) EN 1993-1-8 enthält allgemeine Anforderungen an Schweißzusatzwerkstoffe.

(2) Die Schweißelektroden sollten zusätzlich zu den Anforderungen von EN 1993-1-8 in der Lage sein, eine Schweißnaht herzustellen, deren Korrosionsbeständigkeit für die Einsatzumgebung geeignet ist.

(3) Falls die Korrosionsbeständigkeit des Auftragwerkstoffes und des Schweißgutes nicht kleiner ist als die des zu schweißenden Materials, darf davon ausgegangen werden, dass die Korrosionsbeständigkeit der Schweißelektroden angemessen ist.

6 Dauerhaftigkeit

(1) Das Verfahren für die Auswahl einer für die Einsatzumgebung geeigneten nichtrostenden Stahlsorte muss Anhang A entsprechen.

7 Tragwerksberechnung

7.1 Tragwerksmodellierung für die Berechnung

(1) Die Festlegungen von EN 1993-1-1:2022, Abschnitt 7, sollten auf nichtrostende Stähle angewendet werden, sofern sie nicht durch die besonderen Festlegungen dieses Dokuments abgeändert oder ersetzt werden.

7.2 Berechnung des gesamten Tragwerkes

7.2.1 Berücksichtigung von Einflüssen nach Theorie II. Ordnung

(1) Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung ist nicht erforderlich, wenn die Anforderungen von EN 1993-1-1:2022, Gleichung (7.1) und Gleichung (7.2), erfüllt sind.

ANMERKUNG Der Wert von k_0 in EN 1993-1-1:2022, Gleichung (7.1), beträgt $1/\bar{\lambda}_0^2$, wobei $\bar{\lambda}_0$ die bezogene Grenزشlankheit nach Tabelle 8.3 ist, es sei denn, der Nationale Anhang enthält einen anderen Wert.

7.3 Imperfektionen

7.3.1 Äquivalente Vorkrümmung für die Tragwerks- und Bauteilbemessung

(1) Bei der elastischen Berechnung nach Theorie II. Ordnung und der Fließgelenkberechnung nach Theorie II. Ordnung darf die äquivalente Vorkrümmung e_0 von Bauteilen für Biegeknicken nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.3.1, bestimmt werden.

(2) Bei der Fließzonenberechnung nach Theorie II. Ordnung mit entweder einem bi-linearen Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.3) oder dem nichtlinearen Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.4), das in prEN 1993-1-14:2022, 5.3.3 für nichtrostenden Stahl angegeben ist, darf die äquivalente Vorkrümmung e_0 für Biegeknicken nach Gleichung (7.1) bestimmt werden:

$$e_0 = \frac{\alpha L}{150} \quad (7.1)$$

Dabei ist

L die Bauteillänge;

α der Imperfektionsbeiwert in Abhängigkeit von der maßgebenden Knicklinie nach Tabelle 8.3.

7.3.2 Imperfektionen auf der Grundlage der Knickbiegelinien nach der Elastizitätstheorie

(1) Bei der elastischen Berechnung nach Theorie II. Ordnung und der Fließgelenkberechnung nach Theorie II. Ordnung (siehe 7.4.3.2) darf die Form der maßgebenden Knickbiegeline nach der Elastizitätstheorie η_{cr} des Tragwerkes als einzige globale Imperfektion und örtlich begrenzte Imperfektion nach EN 1993-1-1:2022, 7.3.6, angesetzt werden. Der Stich dieser Imperfektion sollte mit Gleichung (7.2) ermittelt werden:

$$e_{0,m} = \alpha_{\eta,m} (\bar{\lambda}_m - \bar{\lambda}_0) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}} \quad (7.2)$$

Dabei ist

m der Index, der den maßgebenden Querschnitt des Gesamttragwerkes oder des nachzuweisenden Bauteils bezeichnet. Der Index m gibt an, dass der Wert oder Die Eigenschaft zum maßgebenden Querschnitt gehört;

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

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

α_{cr}	der kleinstmögliche Vergrößerungsfaktor der Normalkräfte N_{Ed} der Bauteile, um die ideale Verzweigungslast des Tragwerks zu erreichen;
$\alpha_{\eta,m}$	der Imperfektionsbeiwert α der zutreffenden Knicklinie am maßgebenden Querschnitt m , siehe Tabelle 8.3;
$\bar{\lambda}_0$	die bezogene Grenzschlankheit, siehe Tabelle 8.3;
$M_{Rk,m}$	der charakteristische Wert der Momentenbeanspruchbarkeit des maßgebenden Querschnittes m , z. B. $M_{el,Rk,m}$ oder $M_{pl,Rk,m}$, soweit maßgebend;
$N_{Rk,m}$	der charakteristische Wert der Normalkraftbeanspruchbarkeit des maßgebenden Querschnittes m .

7.4 Berechnungsverfahren unter Berücksichtigung nicht-linearen Werkstoffverhaltens

7.4.1 Allgemeines

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

- a) Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie (siehe 7.4.2), oder
- b) Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie (siehe 7.4.3.1).

7.4.2 Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie

(1) Die Tragwerksberechnung nach der Elastizitätstheorie darf für alle Tragwerke angewendet werden, bei denen das Verhalten aller Bauteile, die zur Gesamtstabilität beitragen, unter allen Lastfällen vorwiegend elastisch bleibt (siehe 7.4.2(3)) und für Tragwerke, bei denen ein Steifigkeitsverlust durch nichtlineares Werkstoffverhalten einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Schnittkräfte hat.

(2) Nichtlineares Werkstoffverhalten verringert die Steifigkeit des Tragwerkes. Die Auswirkungen dieser Steifigkeitsverringerung sollten durch eine Fließzonenberechnung berücksichtigt werden (siehe 7.4.3.3 oder 7.4.3.4), falls sie die Schnittgrößen deutlich vergrößern oder das Tragwerksverhalten erheblich beeinflussen.

(3) Es wird davon ausgegangen, dass Bauteile vorwiegend elastisch bleiben, wenn die Bedingung von Gleichung (7.3) erfüllt ist.

$$\frac{E_s}{E} > 0,2 \quad (7.3)$$

wobei E_s der Sekantenmodul bezogen auf die Spannung σ nach Gleichung (7.4) ist:

$$E_s = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{f_y} \right)^n} \quad (7.4)$$

E ist der Elastizitätsmodul;

σ ist die maximale Spannung, die anhand einer elastischen Berechnung nach Theorie I. Ordnung ermittelt wird, im Querschnitt eines beliebigen Bauteils, das zur Gesamtstabilität des Tragwerks bei Bemessungslast beiträgt,;

f_y ist die Fließgrenze;

n ist der Verfestigungsexponent, siehe Tabelle 9.1.

7.4.3 Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie

7.4.3.1 Allgemeines

(1) Die Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie berücksichtigt die Einflüsse nichtlinearen Werkstoffverhaltens bei der Ermittlung der Schnittgrößen. Die Tragwerksberechnung sollte nach einem der drei folgenden Verfahren erfolgen:

- Fließgelenkverfahren (siehe 7.4.3.2): das nicht-lineare Werkstoffverhalten konzentriert sich auf voll plastizierte Querschnitte in den Fließgelenken und/oder Anschlüssen, die als Fließgelenke wirken;
- Fließzonenverfahren mit einem bi-linearen Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.3): die Teilplastizierung der Bauteile in Fließzonen wird explizit berücksichtigt durch Anwendung eines bi-linearen Werkstoffmodells (siehe EN 1993-1-1:2022, Bild 7.9); Verfestigung wird ebenfalls durch Anwenden eines bi-linearen Werkstoffmodells mit Verfestigung berücksichtigt (siehe B.4 und Bild B.1);
- Das Fließzonenverfahren mit dem zweistufigen Ramberg-Osgood-Werkstoffmodell (siehe 7.4.3.4): die Teilplastizierung, der schrittweiser Steifigkeitsverlust und die Verfestigung von Bauteilen in den Fließzonen werden explizit mithilfe des Werkstoffmodells von prEN 1993-1-14:2022, 5.3.3, berücksichtigt.

(2) Bei der Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie (Fließgelenk oder Fließzone) darf Theorie I. Ordnung zur Bestimmung der Biegemomente in der Ebene für den verschieblichen Versagensmodus nach EN 1993-1-1:2022, 7.2.1(5), angewendet werden, wenn das Kriterium von Gleichung (7.5) erfüllt ist:

$$\alpha_{cr,sw,mod} \geq 10 \quad (7.5)$$

Dabei ist

$\alpha_{cr,sw,mod}$ der modifizierte Faktor, bestimmt mit Gleichung (7.6), mit dem der Bemessungswert der Belastung erhöht werden müsste, um die ideale Verzweigungslast des Gesamttragwerks am seitlich verschieblichen System zu erreichen wobei der Einfluss der Plastizität auf die seitliche Verschiebungsteifigkeit des Rahmens zu berücksichtigen;

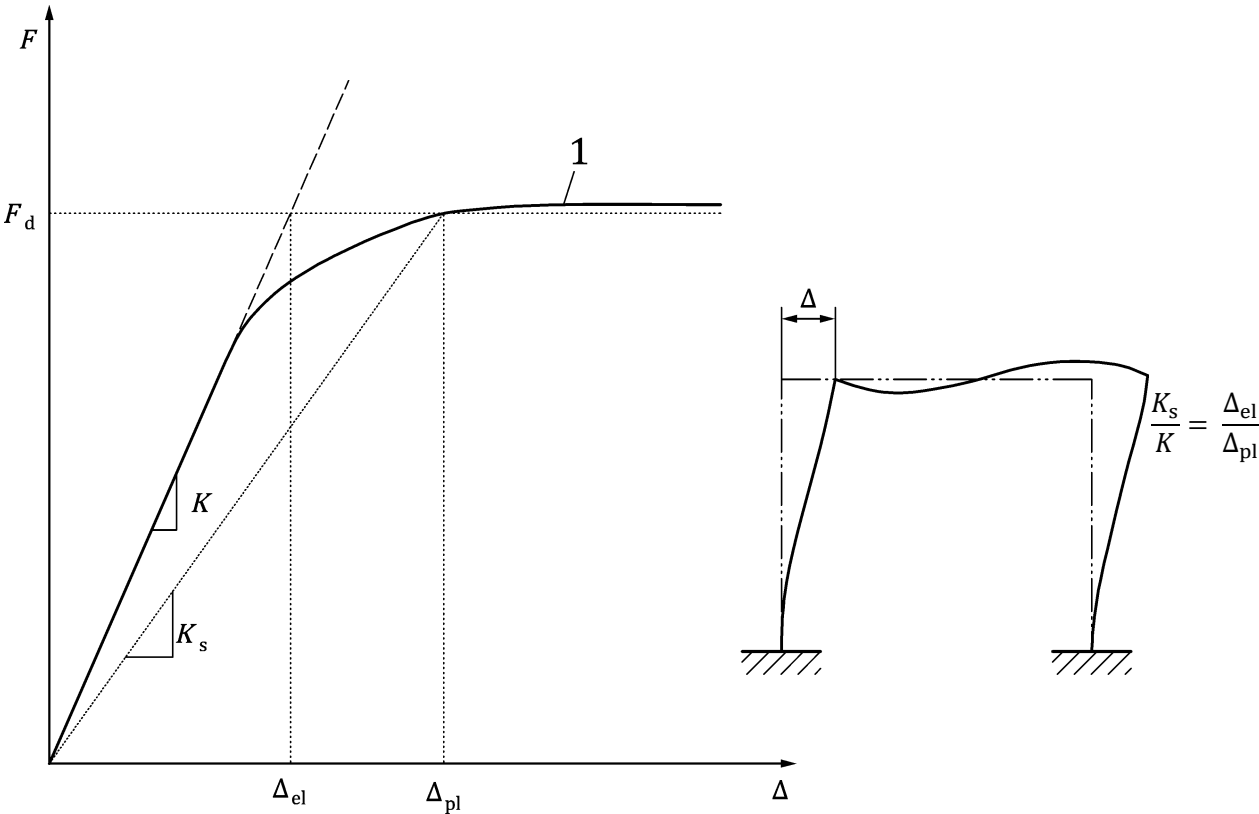
$$\alpha_{cr,sw,mod} = \frac{K_s}{K} Y \alpha_{cr,sw} \quad (7.6)$$

K_s/K das Verhältnis von seitlicher Sekantensteifigkeit beim Bemessungswert der auf das Tragwerk wirkenden Last, F_d , zur seitlichen Anfangssteifigkeit des Tragwerks infolge des Einflusses der Plastizität (d. h. durch eine plastische Tragwerksberechnung (Fließgelenk oder Fließzone) nach Theorie I. Ordnung ermittelt, wie in Bild 7.1 dargestellt). K_s/K darf alternativ in Form von Verformungen Δ_{el}/Δ_{pl} angegeben werden, wie in Bild 7.1 dargestellt;

Y der Faktor, mit dem der weitere Steifigkeitsverlust aus Einflüssen aus Theorie II. Ordnung näherungsweise erfasst wird, übernommen aus Tabelle 7.1;

$\alpha_{cr,sw}$ darf nach EN 1993-1-1:2022, Gleichung (7.2), berechnet werden.

Bei mehrstöckigen Rahmentragwerken sollte K_s/K basierend auf dem kritischen Stockwerk berechnet werden.



- Legende**
F Last
Δ horizontale Verformung
1 Reaktion erhalten aus einer Berechnung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens

Bild 7.1 — Bestimmung des Verhältnisses K_s/K

Tabelle 7.1 — Y-Faktor

Nichtrostender Stahl	Für einstöckige Hallenrahmen	Für alle anderen Rahmen
Austenitisch	0,80	0,55
Duplex	0,85	0,60
Ferritisch	0,90	0,65

7.4.3.2 Fließgelenkverfahren

- (1) Die in 7.4.3.1 dieses Dokuments und in EN 1993-1-1:2022, 7.6, festgelegten Anforderungen an Fließgelenke sollten erfüllt sein.
- (2) Die Auswirkungen einer verformten Geometrie des Tragwerks und die strukturelle Stabilität des Rahmens sollten nach 7.4.3.1(2) nachgewiesen werden.
- (3) Das Fließgelenkverfahren darf ausschließlich für austenitische nichtrostende Stähle und für nichtrostende Duplexstähle angewendet werden.

7.4.3.3 Fließzonenverfahren mit bi-linearem Werkstoffmodell

(1) Die bi-lineare elastisch, perfekt plastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung von EN 1993-1-1:2022, Bild 7.9, oder die bi-linear elastische Spannungs-Dehnungs-Beziehung mit linearer Verfestigung von Bild B.1 dürfen angewendet werden.

(2) Die Auswirkungen einer verformten Geometrie des Tragwerks und die strukturelle Stabilität des Rahmens sollten nach 7.4.3.1(2) nachgewiesen werden.

(3) Der Nachweis der Querschnittstragfähigkeit darf entweder durch Überprüfungen der Querschnittstragfähigkeit (siehe 8.2 oder Anhang B) oder, auf genauere Weise, durch die Anwendung von Dehnungsgrenzen erfolgen, siehe 7.4.3.5.

(4) Unter der Voraussetzung, dass die Dehnungsgrenzen aus nach der verformungsbasierten Bemessung (CSM) nach 7.4.3.5 eingehalten werden, darf eine Fließzonenberechnung mit einem bi-linearen Werkstoffmodell für Tragwerke aller Querschnittsklassen angewendet werden. Eine Klassifizierung der Querschnitte ist nicht erforderlich.

(5) Bei der Anwendung der Verfahren M4 und M5 (siehe EN 1993-1-1:2022, 7.2.2) mit Fließzonenberechnung unter Anwendung eines bi-linearen Werkstoffmodells sollten die äquivalenten Vorkrümmungen von 7.3.1 angewendet werden und der Elastizitätsmodul sollte als der charakteristische (fünftes Perzentil) Wert gleich $E = 191\,000\text{ N/mm}^2$ angesetzt werden.

7.4.3.4 Fließzonenverfahren mit dem zweistufigen Ramberg-Osgood-Werkstoffmodell

(1) Das nichtlineare Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Werkstoffes, beschrieben durch das zweistufige Ramberg-Osgood-Werkstoffmodell in prEN 1993-1-14:2022, sollte angewendet werden.

(2) Unter der Voraussetzung, dass die Dehnungsgrenzen in 7.4.3.5 eingehalten werden, darf eine Fließzonenberechnung mit dem zweistufigen Ramberg-Osgood-Werkstoffmodell für Tragwerke aller Querschnittsklassen angewendet werden. Eine Klassifizierung der Querschnitte ist nicht erforderlich.

(3) Bei der Anwendung der Verfahren M4 und M5 (siehe EN 1993-1-1:2022, 7.2.2) mit Fließzonenberechnung unter Anwendung des zweistufigen Ramberg-Osgood-Werkstoffmodells sollten die äquivalenten Vorkrümmungen von 7.3.1 angewendet werden und der Elastizitätsmodul sollte als der charakteristische (fünftes Perzentil) Wert gleich $E = 191\,000\text{ N/mm}^2$ angesetzt werden.

7.4.3.5 Dehnungsgrenzen für die Fließzonenberechnung

(1) Bei der Fließzonenberechnung von doppelt-symmetrischen I-Profilen und rechteckigen Hohlprofilen dürfen für eine erhöhte Genauigkeit anstelle der Überprüfung der Querschnitte die Dehnungsgrenzen der CSM, siehe Gleichung (7.9) und Gleichung (7.10), verwendet werden. Die Dehnungsgrenzen simulieren örtliches Beulen und steuern das Ausmaß der Ausbreitung der Plastizität, der Momentenumlagerung und der Verfestigung.

(2) Das Gesamttragwerk oder das tragende Bauteil muss das Kriterium nach Gleichung (7.7) erfüllen:

$$\frac{F_d}{F_{Rd}} \leq 1 \quad (7.7)$$

Dabei ist

$$F_{Rd} = F_{Rk} / \gamma_{M1}$$

F_{Rk} der charakteristische Wert der Beanspruchbarkeit des Bauteils als Spitzenwert aus einer Tragwerksberechnung nach der Plastizitätstheorie oder als Punkt, bei dem die CSM-Grenzdehnung (siehe 7.4.3.5(3)) erreicht wird, wobei der kleinere Wert gilt.

(3) Die maximale Dehnung infolge Druck in Längsrichtung unter Bemessungslast ε_{Ed} muss in jedem Querschnitt das Kriterium von Gleichung (7.8) erfüllen:

$$\frac{\varepsilon_{Ed}}{\varepsilon_{csm}} \leq 1,0 \quad (7.8)$$

Dabei ist

ε_{csm} die CSM-Grenzdehnung nach Gleichung (7.9), wenn ein bi-lineares Werkstoffmodell verwendet wird (siehe 7.4.3.3), und nach Gleichung (7.10), wenn das gerundete zweistufige Ramberg-Osgood-Werkstoffmodell verwendet wird (siehe 7.4.3.4).

$$\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0,25}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{3,6}} \leq \min\left(\Omega, \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y}\right) & \text{für } \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,68 \\ \left(1 - \frac{0,222}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1,050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1,050}} & \text{für } 0,68 < \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1,00 \end{cases} \quad (7.9)$$

$$\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0,25}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{3,6}} + \frac{0,002}{\varepsilon_y} \leq \Omega \text{ für } \bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,68 \\ \left(1 - \frac{0,222}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1,050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{p,cs}^{1,050}} + \frac{0,002(\sigma/f_y)^n}{\varepsilon_y} \text{ für } 0,68 < \bar{\lambda}_{p,cs} < 1,00 \end{cases} \quad (7.10)$$

Dabei ist

$\varepsilon_y = f_y / E$ die elastische Dehnung an der Streckgrenze;

$\bar{\lambda}_{p,cs} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,cs}}$ der Schlankheitsgrad des Querschnittes;

$\sigma_{cr,cs}$ die elastische kritische Beulspannung des Gesamtquerschnittes, die numerisch oder nach [11] bestimmt werden darf;

σ die maximale Druckspannung;

C_1 ein Werkstoffkoeffizient nach Tabelle B.1;

Ω ein projektspezifischer Parameter, der die höchstzulässige plastische Dehnung im Tragwerk festlegt;

n der Verfestigungsexponent, siehe Tabelle 9.1.

ANMERKUNG Der Wert von Ω beträgt 15, sofern im Nationalen Anhang kein anderer Wert angegeben ist.

(4) ε_{Ed} darf als der Durchschnittswert der maximalen Dehnung über eine Bauteillänge gleich der elastischen lokalen Beulhalbwellenlänge $L_{b,cs}$ angesetzt werden. $L_{b,cs}$ darf numerisch oder nach [12] bestimmt werden.

Es sollte eine maximale Elementlänge von $L_{b,cs}$ verwendet werden. Die Dehnungen sollten über die Anzahl der Elemente gemittelt werden, die vollständig innerhalb von $L_{b,cs}$ liegen.

(5) Die Interaktion zwischen Biegung und Schub sollte durch Erfüllen des Kriteriums nach Gleichung (7.11) berücksichtigt werden:

$$\frac{\varepsilon_{Ed}}{\rho_{csm} \varepsilon_{csm}} \leq 1 \quad (7.11)$$

Dabei ist

$$\rho_{csm} = \begin{cases} 1 & \text{für } V_{Ed} \leq 0,5V_{pl,Rd} \\ \frac{0,5}{0,5 + \rho} & \text{für } V_{Ed} > 0,5V_{pl,Rd} \end{cases} \quad (7.12)$$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (7.13)$$

V_{Ed} der Bemessungswert der Querkraft;

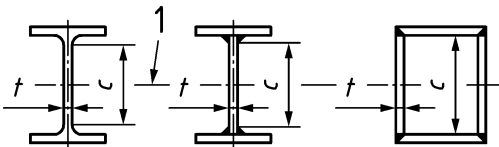
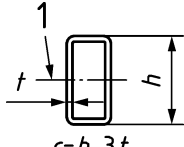
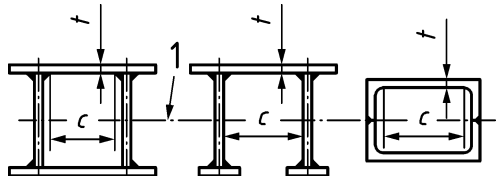
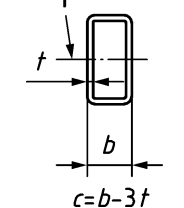
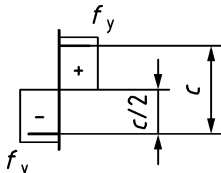
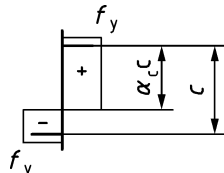
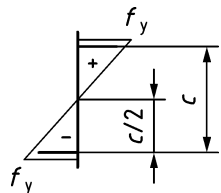
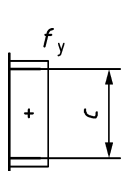
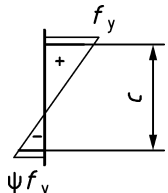
$V_{pl,Rd}$ die plastische Querkraftbeanspruchbarkeit des Querschnittes.

7.5 Einstufung in Querschnittsklassen

(1) Die Höchstwerte der c/t -Verhältnisse druckbeanspruchter Querschnittsteile für die Klassen 1, 2 und 3 sollten Tabelle 7.2 bis Tabelle 7.4 entnommen werden. Sie sind abhängig vom Werkstoffparametern ε nach 5.1.5(3). Querschnittsteile, die die Anforderungen der Querschnittsklasse 3 nicht erfüllen, sollten in Querschnittsklasse 4 eingestuft werden.

(2) Für kaltgeformte Profile und Bleche muss die Klassifizierung des Querschnittes auf der durchschnittlichen Streckgrenze f_{ya} basieren, wenn die Querschnittstragfähigkeit auf Basis der durchschnittlichen Streckgrenze f_{ya} bestimmt wird. Hierzu wird f_y durch f_{ya} in der Definition des Werkstoffparameters ε und des Parameters α_c ersetzt.

Tabelle 7.2 — Maximale c/t -Verhältnisse für beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile				
				
				
Legende 1 Biegeachse				
		Biegebeanspruchtes Teil	Druckbeanspruchtes Teil	Durch Biegung und Normalkraft beanspruchtes Teil
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)	Querschnittsart			
Klasse 1	alle	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	wenn $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha_c - 1}$ wenn $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha_c}$
Klasse 2	alle	$c/t \leq 76\varepsilon$	$c/t \leq 35\varepsilon$	wenn $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{420\varepsilon}{13\alpha_c - 1}$ wenn $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{38\varepsilon}{\alpha_c}$
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)	Querschnittsart			
Klasse 3	geschweißt	$c/t \leq 87\varepsilon$	$c/t \leq 35,4\varepsilon$	wenn $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{35,4\varepsilon}{0,71 + 0,296\psi + 0,006\psi^2}$ wenn $\psi \leq -1^a$: $c/t \leq 43,5\varepsilon(1 - \psi)$

Normen-Download-Beuth-VFA-Interlift e. V.-KdNr:6363432-ID.Fe8dhTVev-swsSzyaibrJ'sQOZY8wIsmx8eAu09-2023-01-31 08:04:45

Tabelle 7.3 — Maximale c/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile von einseitig gestützten Flanschen

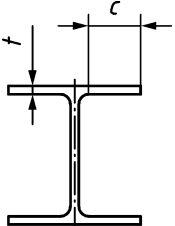
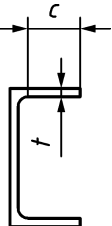
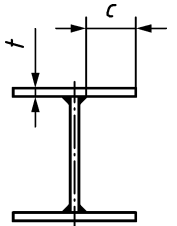
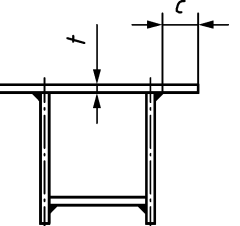
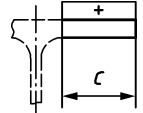
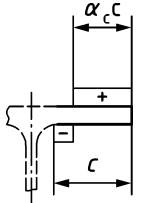
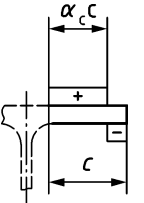
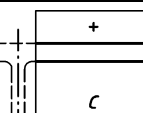
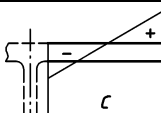
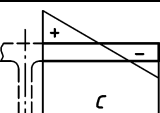
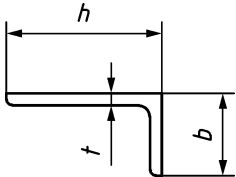
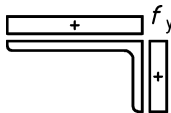
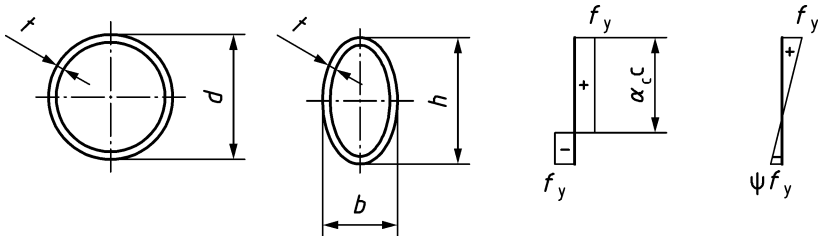
Einseitig gestützte Flansche				
				
Gewalzte Querschnitte		Geschweißte Querschnitte		
		Rein druckbeanspruchtes Teil	Durch Biegung und Normalkraft beanspruchtes Teil	
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)	Querschnittsart			
Klasse 1	alle	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Klasse 2	alle	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)	Querschnittsart			
Klasse 3	geschweißt	$c/t \leq 11,5\varepsilon$	$c/t \leq 17\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$	
	andere	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21,0\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ Für k_σ siehe EN 1993-1-5.	

Tabelle 7.4 — Maximale c/t -Verhältnisse für druckbeanspruchte Querschnittsteile von Winkeln und von runden und elliptischen Hohlprofilen

Siehe auch „einseitig gestützte Flansche“ (Tabelle 7.3)		Winkel 		Gilt nicht für Winkel mit durchgehender Verbindung zu anderen Bauteilen	
Spannungsverteilung über den Querschnitt (Druck positiv)					
Klasse 3		$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ und $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$			
Runde und elliptische Hohlprofile 					
	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Biegung und Normalkraft beanspruchte Querschnittsteile		
Klasse 1	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$		
Klasse 2	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$		
Klasse 3	$d_e/t \leq 90\varepsilon^2$ ANMERKUNG Für $d_e/t > 90\varepsilon^2$ siehe 8.2.2(6).	$d_e/t \leq 280\varepsilon^2$ ANMERKUNG Für $d_e/t > 280\varepsilon^2$ siehe EN 1993-1-6.	$d_e/t \leq \frac{5040\varepsilon^2}{19\psi + 37}$		
Äquivalenter Durchmesser d_e für runde und elliptische Hohlprofile					
Für runde Hohlprofile:			$d_e = d$		
Für elliptische Hohlprofile:					
Auf Druck beansprucht:					
$d_e = d_{e,c} = h \left[1 + \left(1 - 2,3 \left(\frac{t}{h} \right)^{0,6} \right) \left(\frac{h}{b} - 1 \right) \right]$ oder konservativ: $d_e = d_{e,c} = \frac{h^2}{b}$					
Auf Biegung um die starke Achse					
Für $h/b \leq 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = \frac{b^2}{h}$ Für $h/b > 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = 0,4 \frac{h^2}{b}$					
Auf Biegung um die schwache Achse beansprucht, oder auf Druck und Biegung um die schwache Achse:					
$d_e = d_{e,b,z} = \frac{h^2}{b}$					

Bei Druck- und Biegebeanspruchung um die starke Achse darf d_e durch lineare Interpolation zwischen $d_{e,c}$ und $d_{e,b,y}$ bestimmt werden, wie angegeben durch:

$$d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})(2\alpha_c - 1) \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 und der Klasse 2}$$

$$d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})(\psi + 1)/2 \quad \text{für Querschnitte der Klasse 3 und der Klasse 4}$$

Bei Druck- und zweiachsiger Biegebeanspruchung darf d_e , wie oben beschrieben, angesetzt werden, dabei sind α_c und ψ mit einer modifizierten Normalkraft zu berechnen: $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{pl,z}$ für Querschnitte der Klasse 1 und Klasse 2 und $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{el,z}$ für Querschnitte der Klasse 3 und Klasse 4.

8 Grenzzustände der Tragfähigkeit

8.1 Teilsicherheitsbeiwerte

(1) Die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Mi} , die in EN 1993-1-1:2022, 8.1(1) und EN 1993-1-8:2022, 4.3.2(1) definiert sind, sollten auf die charakteristischen Werte der folgenden Beanspruchbarkeiten angewendet werden:

- | | |
|---|-------------------|
| — Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse): | γ_{M0} |
| — Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen): | γ_{M1} |
| — Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Erreichen der Zugfestigkeit: | γ_{M2} |
| — Beanspruchbarkeit von Schrauben, Bolzen, Schweißnähten und Blechen mit Lochleibungsbeanspruchung: | γ_{M2} |
| — Gleitwiderstand: | |
| im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C nach EN 1993-1-8) | γ_{M3} |
| im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B nach EN 1993-1-8) | $\gamma_{M3,ser}$ |

ANMERKUNG Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{M0} , γ_{M1} , γ_{M2} , γ_{M3} und $\gamma_{M3,ser}$ für Bauteile aus nichtrostendem Stahl, die nach einem der Teile von EN 1993 bemessen sind, sind nachstehend angegeben, sofern der Nationale Anhang von prEN 1993-1-4 keine anderen Werte angibt:

$$\gamma_{M0} = 1,10$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

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

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

$$\gamma_{M3,ser} = 1,10$$

8.2 Querschnittsbeanspruchbarkeit

8.2.1 Allgemeines

(1) Die Festlegungen bezüglich der Querschnittsbeanspruchbarkeiten in EN 1993-1-1, EN 1993-1-3 und EN 1993-1-5 sollten, soweit zutreffend, mit den Ergänzungen oder Änderungen in 8.2.2, 8.2.3, 8.2.4, 8.2.5, 8.2.6 oder 8.2.7 für nichtrostende Stähle angewendet werden.

(2) Alternativ dürfen die in Anhang B angegebenen CSM-Festlegungen angewendet werden, um Teilplastizierung und Verfestigung bei der Bestimmung der Querschnittsbeanspruchbarkeit von I-Profilen, C-Profilen, T-Profilen, Winkeln und rechteckigen sowie runden Hohlprofilen zu berücksichtigen, die Zug, Druck, Biegemomenten und kombinierten Biege- und Druckbeanspruchungen ausgesetzt sind.

(3) Die Festlegungen in EN 1993-1-1:2022, Anhang B, hinsichtlich der Bemessung semi-kompakter Querschnitte dürfen nicht für nichtrostenden Stahl angewendet werden.

8.2.2 Wirksame Querschnittswerte

(1) Die Verringerung der Beanspruchbarkeit durch den Einfluss örtlichen Beulens in Querschnitten der Klasse 4 und Gesamtfeldbeulen in Querschnitten mit Längssteifen darf durch Anwendung der wirksamen Querschnittswerte berücksichtigt werden.

(2) Die wirksamen Querschnittswerte der Klasse 4 sollten auf den wirksamen Breiten der druckbeanspruchten Querschnittsteile basieren.

(3) Für kaltgefertigte Profile (außer Hohlprofile) und Bleche sollten die wirksamen Querschnittswerte nach dem in prEN 1993-1-3:2022, 7.6, festgelegten Verfahren bestimmt werden. Die wirksamen Breiten sollten nach (5) dieses Dokuments bestimmt werden. Bei der Berechnung der wirksamen Breiten von druckbeanspruchten Bauteilen oder der reduzierten Dicken der Steifen darf die Streckgrenze durch die durchschnittliche Streckgrenze f_{ya} ersetzt werden, die nach 5.1.2.3 bestimmt wird.

(4) Für Hohlprofile sollten die wirksamen Breiten nach (5) bestimmt werden und die Streckgrenze darf durch die durchschnittliche Streckgrenze f_{ya} ersetzt werden, die nach 5.1.2.3 bestimmt wird.

(5) Die wirksamen Breiten für ebene druckbeanspruchte Querschnittsteile sollten nach EN 1993-1-5 bestimmt werden, mit der Ausnahme, dass der Abminderungsfaktor ρ dabei wie folgt angesetzt werden sollte:

Für geschweißte Querschnitte:

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,328 + \sqrt{0,100 - 0,003\psi} \\ \rho &= \frac{0,655 \bar{\lambda}_p - 0,003(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,328 + \sqrt{0,100 - 0,003\psi} \end{aligned} \quad (8.1)$$

Einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,639 \\ \rho &= \frac{0,655 \bar{\lambda}_p - 0,01}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,639 \end{aligned} \quad (8.2)$$

Für andere Querschnitte:

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,386 + \sqrt{0,089 - 0,02\psi} \\ \rho &= \frac{0,772 \bar{\lambda}_p - 0,02(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,386 + \sqrt{0,089 - 0,02\psi} \end{aligned} \quad (8.3)$$

Einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \\ \rho &= \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 && \text{für } \bar{\lambda}_p > 0,748 \end{aligned} \quad (8.4)$$

Dabei ist $\bar{\lambda}_p$ der Schlankheitsgrad eines Querschnittsteils mit folgender Definition:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} = \frac{\bar{b}/t}{27,7\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (8.5)$$

- ψ das Spannungsverhältnis, das nach prEN 1993-1-5:2022, 6.4.1(3) und 6.4.1(4), bestimmt wird;
- $\bar{b}$ die geeignete Breite, die wie folgt anzusetzen ist (für Definitionen siehe Tabelle 7.2 bis Tabelle 7.4)
- c für beidseitig oder einseitig gestützte flächige Elemente (außer Winkel);
- c für Stege und Flansche von gewalzten rechteckigen Hohlprofilen, die konservativ mit $h-3t$ oder $b-3t$, soweit zutreffend, angesetzt werden können;
- h bei gleichschenkligen und ungleichschenkligen Winkeln;
- k_σ der Beulwert für das maßgebende Spannungsverhältnis ψ und die Randbedingungen nach prEN 1993-1-5:2022, Tabelle 6.1 oder Tabelle 6.2, soweit zutreffend;
- t die Plattendicke;
- $\sigma_{cr,p}$ die elastische kritische Plattenbeulspannung;
- ε der Werkstoffparameter nach 5.1.5(3).

(6) Für druckbeanspruchte runde oder elliptische Hohlprofile der Klasse 4 nach EN 10296-2 oder EN 10297-2 sollte die wirksame Querschnittsfläche A_{eff} mithilfe des äquivalenten Durchmessers d_e und der Dicke t wie folgt bestimmt werden:

$$A_{eff} = A \sqrt{\frac{90\varepsilon^2}{d_e/t}} \quad \text{für } d_e/t \leq 250\varepsilon^2 \quad (8.6)$$

ANMERKUNG Für druckbeanspruchte runde oder elliptische Hohlprofile, die die Grenzen von d_e/t nach (6) überschreiten, siehe EN 1993-1-6.

8.2.3 Druckbeanspruchung

(1) Die Bemessungswert der Druckbeanspruchbarkeit eines Querschnittes bei gleichmäßiger Druckbeanspruchung $N_{c,Rd}$ sollte wie folgt angesetzt werden:

$$N_{c,Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}} \quad (8.7)$$

Dabei ist

$$N_{Rk} = A f_y \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1, 2 oder 3;}$$

$$N_{Rk} = A_{eff} f_y \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.}$$

(2) Für kaltgeformte Querschnitte (einschließlich Konstruktionshohlprofile) und Bleche darf f_y in 8.2.3(1) durch f_{ya} ersetzt werden.

8.2.4 Biegemomentenbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnittes für Biegung um eine Hauptachse $M_{c,Rd}$ sollte wie folgt angesetzt werden:

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}} \quad (8.8)$$

Dabei ist

$$M_{Rk} = W_{pl} f_y \quad \text{für Querschnitte der Klasse 1 oder 2;}$$

$$M_{Rk} = W_{el} f_y \quad \text{für Querschnitte der Klasse 3;}$$

$$M_{Rk} = W_{eff} f_y \quad \text{für Querschnitte der Klasse 4.}$$

(2) Für kaltgefertigte Querschnitte (einschließlich Hohlprofile) und Bleche darf f_y in 8.2.4(1) durch f_{ya} ersetzt werden. Unter der Voraussetzung, dass das Biegemoment nur um eine Hauptachse des Querschnittes aufgebracht wird, und unter der Voraussetzung, dass Fließen zuerst im zugbeanspruchten Bereich des Querschnittes auftritt, dürfen plastische Reserven im Zugbereich nach prEN 1993-1-3:2022, 8.1.4.2, ausgenutzt werden, bis die maximale Druckspannung $\sigma_{com,Ed}$ den Wert f_{ya}/γ_{M0} erreicht.

8.2.5 Querkraftbeanspruchung

(1) Der Bemessungswert der Querkraftbeanspruchbarkeit $V_{c,Rd}$ von geschweißten oder warmgewalzten Profilen sollte als der kleinere Wert der Schubbeanspruchbarkeit $V_{b,Rd}$ nach EN 1993-1-5, abgeändert durch (3) und (4), und der elastischen oder plastischen Querkraftbeanspruchbarkeit nach EN 1993-1-1 angesetzt werden. Für kaltgefertigte Profile siehe prEN 1993-1-3:2022.

(2) Nicht ausgesteifte Stege mit h_w/t -Werten größer als $\frac{56,2}{\eta} \varepsilon$, oder ausgesteifte Stege mit h_w/t -Werten größer als $\frac{24,3}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ sollten in Bezug auf die Schubbeanspruchbarkeit nachgewiesen und durch Querstreifen an den Auflagern ausgesteift werden.

Dabei ist

h_w die lichte Steghöhe zwischen den Flanschen, siehe prEN 1993-1-5:2022, Bild 7.1;

ε in 5.1.5(3) festgelegt;

k_τ in prEN 1993-1-5:2022, 7.3, festgelegt;

$\eta = 1,20$.

(3) Bei Stegen mit Quersteifen nur an den Auflagern (Auflagersteifen) und bei Stegen, die quer und/oder längs ausgesteift sind, sollte in der Regel der Faktor χ_w für den Stegbeitrag zur Beanspruchbarkeit nach Tabelle 8.1 bestimmt werden. Der Faktor χ_w nach Tabelle 8.1 gilt ausschließlich für Schlankheitsgrade $\bar{\lambda}_w$, die für Beulfelder unter der Annahme gelenkiger Randlagerung bestimmt werden.

Tabelle 8.1 — Beitrag des Steges χ_w zur Schubbeanspruchbarkeit

	Endfelder mit verformbaren Auflagersteifen	Alle anderen Fälle (Zwischen- und Endfelder mit starren Auflagersteifen)
$\bar{\lambda}_w \leq 0,65/\eta$	η	η
$0,65/\eta < \bar{\lambda}_w < 0,65$	$0,65/\bar{\lambda}_w$	$0,65/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 0,65$	$1,19/(0,54 + \bar{\lambda}_w)$	$1,56/(0,91 + \bar{\lambda}_w)$

Die Kriterien für Auflagersteifen (Endauflager) und $\bar{\lambda}_w$ sind in EN 1993-1-5 festgelegt.

(4) Wird die Flanschtragfähigkeit nicht vollständig zur Aufnahme des Biegemoments genutzt, d. h. $M_{Ed} < M_{f,Rd}$, dann darf der Beitrag der Flansche $V_{bf,Rd}$ nach prEN 1993-1-5:2022, 7.4(1) berechnet werden, wobei jedoch c wie folgt anzusetzen ist:

$$c = \left[0,17 + \frac{3,5 b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right] a \quad \text{und} \quad \frac{c}{a} \leq 0,65 \quad (8.9)$$

Dabei ist/sind

b_f , t_f und a in EN 1993-1-5 festgelegt;

f_{yf} die Streckgrenze des Flansches;

f_{yw} die Streckgrenze des Steges.

8.2.6 Beanspruchbarkeit bei Lasteinleitung von Querlasten in der Blechebene

(1) Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit der Stege von gewalzten und geschweißten Trägern ohne Stegaussteifungen sollte nach prEN 1993-1-5:2022, 8.2 modifiziert durch (2), bestimmt werden, vorausgesetzt, dass der Druckflansch angemessen in Längsrichtung gehalten wird.

(2) Die Werte für α_{F0} und $\bar{\lambda}_{F0}$ sollten Tabelle 8.2 entnommen werden.

Tabelle 8.2 — Werte für α_{F0} und $\bar{\lambda}_{F0}$

Art der Lasteinleitung (siehe prEN 1993-1-5:2022, 8.1(2))	Austenitischer nichtrostender Stahl und nichtrostender Duplexstahl		Ferritischer nichtrostender Stahl	
	α_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$	α_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$
Art (a)	0,60	0,60	0,30	0,65
Art (b)				
Art (c)	0,75	0,50	0,75	0,50

8.2.7 Quersteifen im Steg

(1) Es gelten die Festlegungen von prEN 1993-1-5:2022, Abschnitt 11, mit Ausnahme der Änderung durch (2).

(2) Beim Nachweis der Knicksicherheit von Steifen sollte als wirksamer Querschnittsfläche der Steife die Steife selbst mit einer Blechbreite von $11,5 \varepsilon t_w$ auf jeder Seite der Steife enthalten, ohne dass es zu einer Überlappung mit den Nachbarsteifen kommt. An den Bauteilenden sollte der zu berücksichtigende Beitrag der Blechbreite entweder $11,5 \varepsilon t_w$ oder die verfügbare Nennbreite sein, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.

8.3 Stabilitätsnachweise für Bauteile

8.3.1 Allgemeines

(1) Die in EN 1993-1-1 und EN 1993-1-3, soweit zutreffend, enthaltenen Festlegungen zu Biegeknicken, Biegedrillknicken, Drillknicken und Biegedrillknicken unter Normalkraft sollten für nichtrostende Stähle bis auf die Ergänzungen oder Abänderungen in 8.3.2, 8.3.3 oder 8.3.4 angewendet werden.

(2) Die Festlegungen in EN 1993-1-1:2022, Anhang B, hinsichtlich der Bemessung semi-kompakter Querschnitte dürfen nicht für nichtrostenden Stahl angewendet werden.

8.3.2 Gleichförmige Bauteile mit planmäßig zentrischem Druck

8.3.2.1 Abminderungsfaktor für das Biegeknicken

(1) Für das Biegeknicken von druckbeanspruchten Bauteilen sollte der Wert des Abminderungsfaktors für das Biegeknicken χ für den zugehörigen bezogenen Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ mit der maßgebenden Nicklinie nach Gleichung (8.10) bestimmt werden:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{aber } \chi \leq 1,0 \quad (8.10)$$

Dabei ist

$$\Phi = 0,5 \left(1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2 \right) \quad (8.11)$$

α ein Imperfektionsbeiwert nach Tabelle 8.3;

$\bar{\lambda}_0$ die bezogene Grenzschlankheit nach Tabelle 8.3.

(2) Der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ sollte mit Gleichung (8.12) ermittelt werden:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}} \quad (8.12)$$

Dabei ist

N_{cr} die ideale Verzweigungslast für den maßgebenden Knickfall gerechnet mit den Abmessungen des Bruttoquerschnittes:

$N_{cr} = N_{cr,y}$ für Biegeknicken um die starke Achse, führt zu $\bar{\lambda}_y$;

$N_{cr} = N_{cr,z}$ für Biegeknicken um die schwache Achse, führt zu $\bar{\lambda}_z$;

$N_{cr} = N_{cr,T}$ für Drillknicken, führt zu $\bar{\lambda}_T$;

$N_{cr} = N_{cr,TF}$ für Biegedrillknicken unter Normalkraft um die y - y -Achse, führt zu $\bar{\lambda}_{TF}$;

N_{Rk} der charakteristische Wert der Druckbeanspruchbarkeit.

(3) Biegeknicken darf vernachlässigt werden und es brauchen nur Querschnittsnachweise erbracht werden, wenn der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$ ist.

Tabelle 8.3 — Werte von α und $\bar{\lambda}_0$ für Biegeknicken

Art des Bauteils	Knick- achse	Austenitisch		Duplex		Ferritisch	
		α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$
Warmgewalzte und geschweißte I-Profile	Starke Achse	0,60	0,2	0,49	0,3	0,49	0,2
	Schwache Achse	0,76	0,2	0,60	0,3	0,76	0,2
Kaltgeformte rechteckige Hohlprofile	beliebig	0,49	0,3	0,49	0,3	0,49	0,2
Kaltgeformte runde und elliptische Hohlprofile	beliebig	0,49	0,2	0,49	0,3	0,49	0,2
Warmgeformte rechteckige Hohlprofile	beliebig	0,49	0,2	0,49	0,2	0,34	0,2
Warmgeformte runde und elliptische Hohlprofile	beliebig	0,49	0,2	0,49	0,2	0,34	0,2
Geschweißte (einschließlich lasergeschweißte) Hohlkastenquerschnitte	beliebig	0,49	0,2	0,49	0,2	0,49	0,2
Kaltgeformte C-Profile und Hutprofile	beliebig	0,49	0,2	0,49	0,2	0,49	0,2
Sonstige offene Profile	beliebig	0,76	0,2	0,76	0,2	0,76	0,2
Für austenitische lasergeschweißte I-Profile darf α mit 0,60 bei Knicken um die schwache Achse angesetzt werden.							

8.3.2.2 Abminderungsfaktor für Drillknicken und Biegedrillknicken unter Normalkraft

(1) Für symmetrische oder asymmetrische Querschnitte darf der Abminderungsfaktor χ_T für Drillknicken oder der Abminderungsfaktor χ_{TF} für Biegedrillknicken unter Normalkraft mit Gleichung (8.10) und Gleichung (8.11) bestimmt werden, wobei die Knickbeiwerte für Knicken um die schwache Achse Tabelle 8.3 entsprechen. Der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ sollte durch $\bar{\lambda}_T$ oder $\bar{\lambda}_{TF}$ ersetzt werden, bestimmt mit Gleichung (8.12) auf Grundlage der idealen Verzweigungslast für Drillknicken $N_{cr,T}$ bzw. der idealen Verzweigungslast für Biegedrillknicken unter Normalkraft $N_{cr,TF}$.

8.3.3 Gleichförmige Bauteile mit Biegung um die Hauptachse

8.3.3.1 Abminderungsfaktoren für Biegedrillknicken

(1) In allgemeinen Fällen von prismatischen Bauteilen mit beliebigen Randbedingungen darf der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken χ_{LT} mit Gleichung (8.10) und Gleichung (8.11) bestimmt werden, wobei der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}$ durch den bezogenen Schlankheitsgrad für Biegedrillknicken

$\bar{\lambda}_{LT}$ nach Gleichung (8.13) ersetzt wird und die Grenزشlankheit $\bar{\lambda}_0$ und der Imperfektionsbeiwert α wie folgt angesetzt werden:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \quad (8.13)$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,2$$

$\alpha = 0,34$ bei kaltgeformten Querschnitten und Hohlprofilen (geschweißt und nahtlos);
 $= 0,76$ bei geschweißten offenen Querschnitten und anderen Querschnitten, für die keine Versuchsergebnisse verfügbar sind.

Dabei ist

M_{cr} das ideale Biegedrillknickmoment;

M_{Rk} der charakteristische Wert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit.

(2) Für gabelgelagerte Bauteile mit doppelt-symmetrischen I- und H-Querschnitten darf der Abminderungsfaktor für das Biegedrillknicken χ_{LT} wie folgt berechnet werden:

$$\chi_{LT} = \frac{f_M}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - f_M \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{aber } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (8.14)$$

Dabei ist

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + f_M \left(\left(\frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right] \quad (8.15)$$

α_{LT} der Imperfektionsbeiwert nach Tabelle 8.4;

$\bar{\lambda}_z$ der zugehörige bezogene Schlankheitsgrad für Biegeknicken um die schwache Achse nach 8.3.2.1 mit der Knicklänge $L_{cr,z}$, die den Abstand zwischen den diskreten seitlichen Lagerungen beschreibt;

f_M der Faktor, der den Einfluss der Biegemomentenverteilung zwischen den diskreten seitlichen Lagerungen berücksichtigt. Für Fälle, die nicht durch die Diagramme in EN 1993-1-1:2022, Tabelle 8.6, enthalten sind, darf konservativ 1,0 angesetzt werden.

(3) Die Einflüsse von Biegedrillknicken dürfen vernachlässigt werden und es brauchen nur Querschnittsnachweise erbracht werden, wenn der bezogene Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ ist.

Tabelle 8.4 — Imperfektionsbeiwert α_{LT} für Biegedrillknicken von doppelt-symmetrischen I- und H-Querschnitten

Stahlsorte	Imperfektionsbeiwert α_{LT}	
Austenitisch	$0,31 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$	aber: $\alpha_{LT} \leq 1,10$
Duplex	$0,23 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$	aber: $\alpha_{LT} \leq 0,76$

Stahlsorte	Imperfektionsbeiwert α_{LT}
Ferritisch	$0,27 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ aber: $\alpha_{LT} \leq 0,76$

8.3.4 Durch Biegung und Druck beanspruchte gleichförmige Bauteile

(1) Die Stabilität von Bauteilen, einschließlich Bauteile mit kaltgefertigten Querschnitten, sollte mit den Regeln von EN 1993-1-1:2022, 8.3.3, nachgewiesen werden, sofern nicht durch (2) und (3) modifiziert oder geändert.

(2) Die Festlegungen in EN 1993-1-1:2022, C.1, hinsichtlich der Bemessung von Bauteilen mit einfach symmetrischen I-, H- und Hohlkastenquerschnitten dürfen nicht für nichtrostenden Stahl angewendet werden.

(3) Bauteile mit gleichzeitiger Beanspruchung durch Biegung und Druck sollten die Interaktionsgleichungen von EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(5) erfüllen, wobei aber die Interaktionsfaktoren k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} und k_{zz} nach Tabelle 8.5 und Tabelle 8.6 einzusetzen sind.

Tabelle 8.5 — Interaktionsfaktoren k_{yy} und k_{yz} für EN 1993-1-1:2022, Kriterium (8.88), Knicken um die y-y-Achse

Austenitisch	Duplex	Ferritisch
I-Querschnitte		
Für $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,60(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$
Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,625n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,52n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (für k_{zz} siehe Tabelle 8.6)		
Rechteckige Hohlprofile und geschweißte Hohlkastenquerschnitte		
Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,4$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_y - 0,40)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,6$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_y - 0,45)n_y]$
Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,4$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,5n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,6$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,495n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (für k_{zz} siehe Tabelle 8.6)		
Runde Hohlprofile		
Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,38)n_y]$	Für $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,90(\bar{\lambda}_y - 0,39)n_y]$
Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,50n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,84n_y)$	Für $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,805n_y)$
$k_{yz} = k_{yy}$		
ANMERKUNG 1 Siehe EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(9), für n_y .		
ANMERKUNG 2 Siehe EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(10), und EN 1993-1-1:2022, Tabelle 8.9, für C_{my} .		

Tabelle 8.6 — Interaktionsfaktoren k_{zy} und k_{zz} für EN 1993-1-1:2022, Kriterium (8.89), Knicken um die z-z-Achse

Austenitisch	Duplex	Ferritisch
I-Querschnitte		
Für $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	Für $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	Für $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
Für $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
Für $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,80(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,70(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,20(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$
Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,96n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,89n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,20n_z)$
Rechteckige Hohlprofile und geschweißte Hohlkastenquerschnitte		
$k_{zy} = k_{yy}$ (für k_{yy} siehe Tabelle 8.5)		
Für $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_z - 0,30)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_z - 0,45)n_z]$
Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,00n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,50n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,495n_z)$
Runde Hohlprofile		
$k_{zz} = k_{zy} = k_{yy}$ (für k_{yy} siehe Tabelle 8.5)		
Kaltgeformte und warmgewalzte C-Profile		
Für $\bar{\lambda}_z < 0,9$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 5,00(\bar{\lambda}_z - 0,20)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	Für $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$
Für $\bar{\lambda}_z \geq 0,9$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 3,50n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$	Für $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$
ANMERKUNG 1 Siehe EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(9), für n_z .		
ANMERKUNG 2 Siehe EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(10), und EN 1993-1-1:2022, Tabelle 8.9, für C_{mz} und C_{mLT} .		

9 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

9.1 Allgemeines

(1) Die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit in EN 1993-1-1:2022, Abschnitt 9, sollten für nichtrostende Stähle angewendet werden.

(2) Bauteilverformungen sollten nach 9.2 abgeschätzt werden.

(3) Wenn sichtbare Verformungen des Querschnittes nicht annehmbar sind, sollte die Druckspannung $\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$ im Querschnitt unter Gebrauchslasten durch die elastische kritische Beulspannung der Einzelfelder und des Gesamtfeldes begrenzt werden, die numerisch oder im Fall der elastischen kritischen Beulspannung der Einzelfelder nach [11] bestimmt werden darf. Auf der sicheren Seite darf bei aus ebenen Blechen zusammengesetzten Querschnitten die elastische kritische Beulspannung eines Einzelfeldes für ein Blech mit dem größten Schlankheitsgrad innerhalb des Querschnittes mit Gleichung (B.5) bestimmt werden. Für runde Hohlprofile darf die elastische kritische Beulspannung mit Gleichung (B.7) bestimmt werden. Für Querschnitte mit Randsteifen oder Zwischensteifen darf die elastische kritische Beulspannung für Gesamtfeldbeulen nach prEN 1993-1-3:2022, 7.6.3, bestimmt werden.

9.2 Ermittlung von Verformungen

(1) Bei der Abschätzung der Verformungen sollten die Einflüsse der nichtlinearen Spannungs-Dehnungs-Beziehung für nichtrostende Stähle und die Wirksamkeit des Querschnittes berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Hinweise zur Beschreibung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens lösungsgeglühter Werkstoffe sind in prEN 1993-1-14:2022 angegeben.

(2) Für Querschnitte, die anfällig für Einzelfeldbeulen oder Gesamtfeldbeulen unter Gebrauchslasten sind, sollte das wirksame Trägheitsmoment nach prEN 1993-1-3:2022, 9.1(2) basierend auf dem Elastizitätsmodul E bestimmt werden.

(3) Bei Bauteilen, die Schubverzerrungen unterliegen, darf der wirksame Querschnitt auf den mittragenden Breiten basieren, die nach prEN 1993-1-5:2022, 5.2.1, ermittelt werden.

(4) Verformungen sollten unter Verwendung des elastischen Sekantenmoduls $E_{\text{s,ser}}$ abgeschätzt werden, der unter Berücksichtigung der Spannungen im Bauteil unter der Lastkombination für den maßgebenden Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bestimmt wurde.

(5) Der Wert des elastischen Sekantenmoduls $E_{\text{s,ser}}$ darf mit Gleichung (9.1) berechnet werden:

$$E_{\text{s,ser}} = \frac{(E_{\text{s,1}} + E_{\text{s,2}})}{2} \quad (9.1)$$

Dabei ist

$E_{\text{s,1}}$ der Sekantenmodul, bezogen auf die Spannung σ_1 im Zugflansch;

$E_{\text{s,2}}$ der Sekantenmodul, bezogen auf die Spannung σ_2 im Druckflansch.

(6) Die Werte von $E_{\text{s,1}}$ und $E_{\text{s,2}}$ für die jeweilige Bemessungsspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $\sigma_{\text{i,Ed,ser}}$ dürfen mit Gleichung (9.2) abgeschätzt werden:

$$E_{\text{s,i}} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{\text{i,Ed,ser}}} \left(\frac{\sigma_{\text{i,Ed,ser}}}{f_y} \right)^n} \quad (9.2)$$

mit:

$i = 1 \text{ oder } 2.$

(7) Der Wert des Koeffizienten n darf Tabelle 9.1 entnommen werden.

(8) Zur Vereinfachung darf die Veränderung von $E_{s,ser}$ über die Bauteillänge vernachlässigt und stattdessen der Mindestwert von $E_{s,ser}$ für dieses Bauteil (an der Stelle der maximalen Bauteilspannungen $\sigma_{1,Ed,ser}$ und $\sigma_{2,Ed,ser}$) verwendet werden.

ANMERKUNG Die Verwendung des Sekantenmoduls in (5) oder (8) ergibt eher konservative Abschätzungen der Verformung, wenn die Maximalspannung im Bauteil $\sigma_{i,Ed,ser} > 0,65f_y$ beträgt. Genauere analytische Formulierungen zur Abschätzung der Verformung unter üblichen Lastbedingungen sind in [13] angegeben.

(9) Alternativ dürfen Verformungen mit den Finite-Elemente-Methoden nach prEN 1993-1-14:2022 abgeschätzt werden.

Tabelle 9.1 — Werte von n

Stahlsorte	Koeffizient n
Ferritisch	14
Austenitisch	7
Duplex	8

10 Bemessung von Verbindungen

10.1 Allgemeines

(1) Die Festlegungen in EN 1993-1-8 sollten auf nichtrostende Stähle angewendet werden, außer wo sie durch die Festlegungen in 10.2 und 10.3 ergänzt oder ersetzt werden.

ANMERKUNG Angaben zur Dauerhaftigkeit sind in Anhang A enthalten.

(2) Die Bemessung der Verbindungen von Blechen aus nichtrostenden Stählen mit selbstfurchenden Schrauben sollte nach EN 1993-1-3 erfolgen. Dabei sollte die Beanspruchbarkeit gegen Herausziehen durch Versuche ermittelt werden.

(3) Liegen nicht genügend Erfahrungswerte vor, sollte die Verwendbarkeit von selbstfurchenden Schrauben für Bleche aus nichtrostendem Stahl durch Versuche nachgewiesen werden.

ANMERKUNG Prüfungen von mechanischen Verbindungselementen sind in [14] beschrieben. Zusätzliche Informationen über Prüfverfahren für Verbindungselemente sind in [15] enthalten.

10.2 Schraubenverbindungen

(1) Die Lochleibung einer Schraubenverbindung sollte entweder auf Grundlage eines Festigkeits- oder eines Verformungskriteriums bestimmt werden. Das Festigkeitskriterium darf verwendet werden, wenn die Verformung am Schraubenloch unter Gebrauchslast keine Anforderung im Rahmen der Bemessung ist.

(2) Die Lochleibung eines einzelnen mechanischen Verbindungselementes sollte mit Gleichung (10.1) berechnet werden:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (10.1)$$

Dabei ist

α_b der Lochleibungsbeiwert in Richtung der Lastübertragung nach Tabelle 10.1 oder Tabelle 10.2;

- k_1 der Lochleibungsbeiwert senkrecht zur Lastübertragung nach Tabelle 10.1 oder Tabelle 10.2;
- d der Schraubendurchmesser;
- d_0 der Schraubenlochdurchmesser;
- e_1 der Endabstand zwischen der Mitte eines Schraubenlochs und dem benachbarten Ende eines beliebigen Teils, gemessen in Richtung der Lastübertragung;
- e_2 der Randabstand zwischen der Mitte eines Schraubenlochs und dem benachbarten Rand eines beliebigen Teils, gemessen senkrecht zur Richtung der Lastübertragung;
- p_1 der Abstand zwischen den Schraubenmittelpunkten in einer Reihe in Richtung der Lastübertragung;
- p_2 der Abstand zwischen benachbarten Schraubenreihen, gemessen senkrecht zur Richtung der Lastübertragung;
- t die Dicke des angeschlossenen Blechs;
- f_u die Zugfestigkeit des angeschlossenen Blechs.

Tabelle 10.1 — Koeffizienten α_b und k_1 ($t > 4$ mm)

	Lochleibungsbeiwert α_b	Lochleibungsbeiwert k_1
Festigkeitskriterium	Für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{6d_0} \right\}$ Für innenliegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{12d_0} \right\}$	Für am Rand liegende Schrauben: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{wenn } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{wenn } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} \leq 1,5 \end{cases}$ Für innenliegende Schrauben: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{wenn } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{wenn } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) \leq 1,5 \end{cases}$
Verformungskriterium	Für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{4d_0} \right\}$ Für innenliegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{8d_0} \right\}$	Für am Rand und innenliegende Schrauben: $k_1 = 0,5$

Tabelle 10.2 — Koeffizienten α_b und k_1 ($t \leq 4$ mm)

	Lochleibungsbeiwert α_b	Lochleibungsbeiwert k_1
Festigkeitskriterium	Innenblech in einer zweischnittigen Verbindung	
	Für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{6d_0} \right\}$ Für innenliegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{12d_0} \right\}$	Für am Rand liegende Schrauben: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{wenn } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{wenn } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} \leq 1,5 \end{cases}$ Für innenliegende Schrauben: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{wenn } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{wenn } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) \leq 1,5 \end{cases}$
	Einschnittige Verbindungen und Außenblech in zweischnittigen Verbindungen	
	Für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{4d_0} \right\}$ Für innenliegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{8d_0} \right\}$	Für am Rand und innenliegende Schrauben: $k_1 = 0,64$
Verformungskriterium	Ein- und zweischnittige Verbindungen	
	Für am Rand liegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{4d_0} \right\}$ Für innenliegende Schrauben: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{8d_0} \right\}$	Für am Rand und innenliegende Schrauben: $k_1 = 0,5$

(3) Die Beanspruchbarkeit einer Schraube gegenüber Abscheren, $F_{v,Rd}$, sollte mit Gleichung (10.2) berechnet werden:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (10.2)$$

Dabei ist

- A die Schaftquerschnittsfläche der Schrauben (wenn die Scherfuge durch den gewindelosen Teil der Schraube verläuft) oder die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube (wenn die Scherfuge durch den Teil der Schraube mit Gewinde verläuft);
- f_{ub} die Zugfestigkeit der Schraube, siehe Tabelle 5.5;
- α in Tabelle 10.3 angegeben und gilt, wenn die Scherfuge durch den Teil der Schraube mit oder ohne Gewinde verläuft.

Tabelle 10.3 — Werte von α

Festigkeitsklasse	Austenitisch	Duplex
50	0,8	—
70	0,7	0,8
80	0,7	0,7
100	0,6	0,6

(4) Die Zugfestigkeit einer Schraube, $F_{t,Rd}$, sollte nach Gleichung (10.3) berechnet werden:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (10.3)$$

Dabei ist

k_2 = 0,63 für Senkkopfschrauben, anderenfalls gilt $k_2 = 1,0$;

A_s die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube.

(5) Schrauben, die gleichzeitiger Beanspruchung aus Schub und Zug ausgesetzt sind, sollten Kriterium (10.4) oder Kriterium (10.5) erfüllen:

Falls die Gewinde in der Scherfuge nicht ausgeschlossen sind:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \right)^{1.7} \leq 1,0 \quad \text{aber} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (10.4)$$

Falls die Gewinde in der Scherfuge ausgeschlossen sind:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1,25 F_{t,Rd}} \right)^{1.7} \leq 1,0 \quad \text{aber} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (10.5)$$

(6) Der Bemessungswert des Gleitwiderstandes von vorgespannten Schraubenverbindungen sollte wie folgt angesetzt werden:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,S} \quad (10.6)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,S} \quad (10.7)$$

Dabei ist

k_s in prEN 1993-1-8:2022, Tabelle 5.10, angegeben;

n die Anzahl der Reibflächen;

μ die Reibungszahl, die entweder durch gezielte Versuche nach EN 1090-2 für die jeweilige Reibfläche mithilfe von Prüfkörpern, die für die Oberflächen des Tragwerks repräsentativ sind, ermittelt wurde, oder die, soweit maßgebend, in Tabelle 10.4 angegeben ist;

$F_{p,s}$ der Nenn-Vorspannkraft der Schraubengarnitur nach Gleichung (10.8).

$$F_{p,s} = 0,7 f_{yb} A_s \quad (10.8)$$

Dabei ist

f_{yb} die Nenn-Streckgrenze der Schraube;

A_s die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube.

(7) Eine Verfahrensprüfung nach 5.2.2 ist erforderlich, um sicherzustellen, dass die Vorspannkraft mit den gewählten Anziehverfahren und Parametern erreicht wird.

Tabelle 10.4 — Reibungszahlen μ für Reibungsflächen

Oberflächenzustand ^a		Klasse	Reibungszahl
Oberflächenbearbeitung	Rz^b µm		
Oberflächen, gestrahlt mit sauberem körnigen Strahlmittel aus nichtrostendem Stahl	≥ 55	SSA	0,50
	≥ 45	SSB	0,40
Oberflächen, gestrahlt mit sauberem Kugelstrahlmittel aus nichtrostendem Stahl	≥ 35	SSC	0,20
Oberflächen im gewalzten Zustand	≥ 25	SSD	0,15
ANMERKUNG 1 Der mögliche Vorspannkraftverlust gegenüber ihrem Anfangswerte ist in diesen Reibungszahlen berücksichtigt.			
ANMERKUNG 2 Beim Strahlen mit körnigem Strahlmittel und beim Strahlen mit Kugelstrahlmittel ist es wichtig, sicherzustellen, dass die Korrosionsbeständigkeit dadurch nicht nachteilig beeinflusst wird.			
^a Die Klassifizierung einer anderen Oberflächenbehandlung sollte nach den Verfahren von EN 1090-2:2018, Anhang G, anhand von Prüfkörpern erfolgen, die für die Oberflächen des Tragwerks repräsentativ sind.			
^b Rz ist die Oberflächenrauigkeit nach EN ISO 21920-2.			

10.3 Bemessung von Schweißnähten

(1) Die Bemessungstragfähigkeit von Kehlnähten sollte mithilfe des richtungsbezogenen Verfahrens oder des vereinfachten Verfahrens ermittelt werden.

(2) Beim richtungsbezogenen Verfahren sollte die Bemessungstragfähigkeit einer Kehlnaht als ausreichend angenommen werden, wenn beide der folgenden Punkte erfüllt sind:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad \text{und} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} \quad (10.9)$$

Dabei ist

f_u die Nenn-Zugfestigkeit des angeschlossenen Bauteils mit dem geringeren Festigkeitsgrad;

β_w der geeignete Korrelationsbeiwert, der wie folgt angesetzt wird:

- = 0,9 für Schweißnähte, die austenitische nichtrostende Stähle miteinander verbinden;
- = 1,0 für Schweißnähte, die nichtrostende Duplexstähle oder ferritische nichtrostende Stähle miteinander verbinden;
- = 1,0 für Schweißnähte, die austenitische nichtrostende Stähle mit nichtrostenden Duplexstählen oder ferritischen nichtrostenden Stählen verbinden, oder die nichtrostende Duplexstähle mit ferritischen nichtrostenden Stählen verbinden, oder die nichtrostende Stähle mit Kohlenstoffstahl verbinden.

(3) Beim vereinfachten Verfahren sollte der Bemessungswert der Scherfestigkeit einer Schweißnaht wie folgt bestimmt werden:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} \quad (10.10)$$

(4) Beim Schweißen von kaltverfestigten Werkstoffen sollte die Beanspruchbarkeit des Grundmaterials in den Wärmeeinflusszonen von Stumpfnähten als die Zugfestigkeit des lösungsgeglühten Grundmaterials angesetzt werden, siehe jedoch auch 10.3(6).

(5) Beim Schweißen von kaltverfestigten Werkstoffen kann der metallische Schweißzusatzwerkstoff eine niedrigere Festigkeit haben als das Grundmaterial; in diesem Fall sollte der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit von Kehl- und Stumpfnähten auf der Nenn-Zugfestigkeit des Schweißzusatzwerkstoffs beruhen und β_w sollte mit 1,0 angesetzt werden. Siehe jedoch auch 10.3(6).

(6) In geschweißten Anschlüssen von kaltverfestigtem Werkstoff kann das Erweichen der Wärmeeinflusszonen unvollständig sein, und die tatsächliche Festigkeit der Anschlüsse kann höher sein als die nach 10.3(4) und (5) berechnete. Unter diesen Umständen kann es möglich sein, höhere Bemessungseigenschaften durch Versuche zu bestimmen.

11 Ermüdung

(1) Für austenitische nichtrostende Stähle und nichtrostende Duplexstähle, die Ermüdungseinwirkungen ausgesetzt sind, muss EN 1993-1-1, Abschnitt 10, angewendet werden. Die Regeln von EN 1993-1-1, Abschnitt 10, dürfen nicht für Tragwerke aus ferritischem nichtrostenden Stahl, die Ermüdungseinwirkungen ausgesetzt sind, angewendet werden.

12 Feuerwiderstand

(1) Für brandbeanspruchte Tragwerke aus nichtrostendem Stahl müssen die Regeln von EN 1993-1-2, Anhang C, angewendet werden.

Anhang A (normativ)

Werkstoffauswahl und Dauerhaftigkeit

A.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser normative Anhang enthält Festlegungen für die Auswahl von Werkstoffen und die Dauerhaftigkeit.

A.2 Anwendungsbereich und Anwendungsfeld

(1) Dieser normative Anhang gilt für die Auswahl von nichtrostenden Stählen für Tragwerke und setzt voraus, dass es sich um tragende Bauteile handelt.

(2) Das Verfahren berücksichtigt nicht:

- Sorten-/Produktverfügbarkeit;
- Anforderungen an die Oberflächenbearbeitung, z. B. aus architektonischen oder hygienischen Gründen;
- Anschluss-/Verbindungsverfahren.

Die Art der Oberflächenbeschaffenheit kann einen entscheidenden Einfluss auf die Dauerhaftigkeit haben. Falls die visuelle Qualität für ein bestimmtes Bauteil von Bedeutung ist, darf in Übereinstimmung mit der Produktnorm eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit festgelegt werden.

(3) Das Verfahren geht davon aus, dass die folgenden Kriterien erfüllt werden:

- der pH-Bereich der Einsatzumgebung ist nahezu neutral (pH-Wert 4 bis 10);
- die Bauteile sind nicht direkt oder nur teilweise einem chemisch technologischen Verfahren oder chemischen Prozess ausgesetzt;
- die Einsatzumgebung befindet sich nicht ständig oder nicht regelmäßig unterhalb der Meeresoberfläche.

Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, sollte eine fachliche Beratung in Anspruch genommen werden.

ANMERKUNG Für Hinweise zur Werkstoffauswahl für Befestigungen in Beton, Holz und Mauerwerk siehe EN 1992, EN 1995 bzw. EN 1996.

(4) Das Verfahren ist für Umgebungen geeignet, die innerhalb Europas vorhanden sind. Das Verfahren sollte nicht für Regionen außerhalb Europas angewendet werden und kann besonders in bestimmten Teilen der Welt irreführend sein, z. B. im Mittleren Osten, Fernen Osten und Mittelamerika.

A.3 Korrosionsschutz von Bauprodukten — Anforderungen

(1) Unter der Voraussetzung, dass der Werkstoff entsprechend dem in den Tabellen A.1, A.2 und A.3 angegebenen Verfahren ausgewählt wird, den Beschränkungen in A.4 unterliegt sowie keine zusätzlichen Anforderungen nach A.5 bis A.7 vorhanden sind, erfordern Bauteile und mechanische Verbindungselemente aus nichtrostendem Stahl keinen Korrosionsschutz, um eine ausreichende Dauerhaftigkeit sicherzustellen.

A.4 Werkstoffauswahl

(1) Das Verfahren umfasst folgende Arbeitsschritte:

- Ermittlung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors (CRF, en: corrosion resistance factor) für die Umgebung (Tabelle A.1);
- Bestimmung der Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC, en: corrosion resistance class) aus dem CRF (Tabelle A.2).

Tabelle A.3 enthält Stahlsorten, die eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit in den vorgesehenen Einsatzumgebungen aufweisen. Die Auswahl der spezifischen Stahlsorte hängt neben der Korrosionsbeständigkeit von noch weiteren Faktoren ab, z. B. der Festigkeit und Verfügbarkeit der erforderlichen Erzeugnisform. Die Spezifikation des Werkstoffes anhand der Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC) und der Festigkeitsklasse (nach Tabelle 5.1), z. B. CRC III und SC450, oder anhand der Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC) und der Streckgrenze, z. B. CRC III und $f_y = 450 \text{ N/mm}^2$, reicht für eine Empfehlung der Stahlsorte durch den Lieferanten aus.

(2) Das Verfahren gilt für Bauteile, die dem Außenbereich ausgesetzt sind. Bei Bauteilen in Innenräumen ist der CRF = 1,0.

Ein Innenraum ist ein Bereich, der entweder belüftet oder beheizt wird, oder sich innerhalb geschlossener Türen befindet. Parkhäuser, Verladerampen oder andere Bauwerke mit großen Öffnungen sollten als Außenbereiche angesehen werden.

ANMERKUNG Hallenbäder sind Sonderfälle von Innenräumen, die in A.5 behandelt werden.

(3) Der CRF hängt von der Korrosivität der Umgebung ab und wird wie folgt berechnet:

$$\text{CRF} = F_1 + F_2 + F_3$$

Dabei ist

- F_1 = das Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen (Streusalz);
- F_2 = das Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid;
- F_3 = das Reinigungskonzept oder die Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen.

(4) Der Wert von F_1 ist bei Anwendungen an der Küste von dem bestimmten Ort in Europa abhängig und wird aus Erfahrungswerten mit vorhandenen Bauwerken, Daten von Korrosionsprüfungen sowie von der Chloridverteilung abgeleitet. Die Vielzahl von Umgebungsbedingungen innerhalb Europas bedeutet, dass in einigen Fällen der berechnete CRF konservativ sein wird. Der Konservatismus ist auf die Annahme der Exposition gegenüber konstant hohen Ablagerungsraten von luftgetragenen Chloriden aus dem Meer zurückzuführen. Wenn dies durch eine detaillierte standortspezifische Bewertung durch einen geeigneten Experten gerechtfertigt ist, darf die CRC um eine Klasse herabgesetzt werden. Die Bewertung sollte Faktoren einbeziehen, die die Chloridablagerung reduzieren können, wie unter anderem die Nähe zum offenen Meer, Schutz durch die Topographie des Bodens oder durch Gebäude, vorherrschende Windrichtung und Brandungswellen.

ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann festlegen, ob ein moderaterer CRF ausgewählt werden darf, wenn validierte Betriebserfahrungen vor Ort oder Prüfdaten eine derartige Auswahl unterstützen.

(5) Verschiedene Bauteile eines Bauwerks können unterschiedliche Expositionsbedingungen aufweisen, z. B. kann ein Bauteil vollständig exponiert und ein anderes Teil vollständig geschützt sein. Jede Exposition sollte einzeln beurteilt werden.

(6) Das Verfahren setzt voraus, dass die Anforderungen von EN 1090-2 eingehalten werden in Bezug auf:

- die Schweißverfahren und die anschließende Nachbearbeitung der Schweißnaht;
- die Vermeidung oder die Entfernung und Reinigung von Verunreinigungen der Oberflächen von nichtrostenden Stählen nach dem thermischen oder mechanischen Schneiden.

Die Nichtbeachtung kann zur Verminderung der Korrosionsbeständigkeit der geschweißten Bauteile führen.

Tabelle A.1 — Bestimmung des Korrosionsbeständigkeitsfaktors $CRF = F_1 + F_2 + F_3$

Risiko der Exposition gegenüber Chloriden aus Salzwasser oder Auftausalzen (Streusalz), F_1		
1	Innenräume	
0	Niedriges Expositionsrisiko	$M > 10 \text{ km}$ oder $S > 0,1 \text{ km}$
-3	Mittleres Expositionsrisiko	$1 \text{ km} < M \leq 10 \text{ km}$ oder $0,01 \text{ km} < S \leq 0,1 \text{ km}$
-7	Hohes Expositionsrisiko	$0,25 \text{ km} < M \leq 1 \text{ km}$ oder $S \leq 0,01 \text{ km}$
-10	Sehr hohes Expositionsrisiko	Straßentunnel mit Einsatz von Auftausalzen oder wenn Fahrzeuge Auftausalze in den Tunnel einbringen könnten.
-10	Sehr hohes Expositionsrisiko	$M \leq 0,25 \text{ km}^a$ Nordseeküste Deutschlands und alle Küstenregionen der Ostsee.
-15	Sehr hohes Expositionsrisiko	$M \leq 0,25 \text{ km}^a$ Atlantikküste Portugals, Spaniens und Frankreichs. Küste des Ärmelkanals und der Nordseeregionen des Vereinigten Königreichs, Frankreichs, Belgiens, den Niederlanden und Südschwedens. Alle anderen Küstenregionen des Vereinigten Königreichs, Norwegens, Dänemarks und Irlands. Mittelmeerküste
ANMERKUNG M ist der Abstand vom Meer und S ist der Abstand von Straßen mit Einsatz von Auftausalzen.		
^a Die Entfernung $M < 0,25 \text{ km}$ setzt voraus, dass das Bauwerk nicht durch die Bodentopographie geschützt ist. Wenn die Topographie einen teilweisen Schutz für das Bauwerk bietet, darf erfahrungsgemäß eine Stahlsorte von einer Korrosionsbeständigkeitsklasse niedriger verwendet werden. Beispiele für einen solchen Schutz sind Bauwerke über Buchten oder Flussmündungen mit begrenzter Wellenhöhe, physische Barrieren wie Bäume, Hügel und andere Gebäude innerhalb der 0,25-km-Zone.		
Risiko der Exposition gegenüber Schwefeldioxid, F_2		
0	Niedriges Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration $< 10 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
-5	Mittleres Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration $10 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $90 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
-10	Hohes Expositionsrisiko	Mittelwert der Gaskonzentration $90 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $250 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$
ANMERKUNG In den europäischen Küstenregionen ist die Schwefeldioxidkonzentration üblicherweise gering. Im Landesinneren ist die Schwefeldioxidkonzentration entweder gering oder mittel. Ein hohes Expositionsrisiko ist ungewöhnlich und stets mit besonderen Standorten der Schwerindustrie oder spezifischen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise Straßentunneln, verbunden. Die Schwefeldioxidkonzentration darf in Übereinstimmung mit dem Verfahren in EN ISO 9225 bewertet werden. Ferritische nichtrostende Stähle zeigen eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Schwefeldioxid.		
Reinigungskonzept oder Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen, F_3		
0	Vollständige Exposition gegenüber Abwaschen durch Regen	
-2	Spezifisches Reinigungskonzept	
-7	Kein Abwaschen durch Regen oder keine spezifische Reinigung	
ANMERKUNG 1 Wenn $F_1 + F_2 \geq 0$, dann ist $F_3 = 0$.		
ANMERKUNG 2 Wenn das Bauteil regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion überprüft und gereinigt werden muss, sollte das dem Anwender in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Die Überprüfung, das Reinigungsverfahren und die Häufigkeit sollten festgelegt sein. Je häufiger die Reinigung erfolgt, desto größer ist der Nutzen. Die Zeitspanne zwischen den Reinigungen sollte nicht größer als 3 Monate sein. Ist eine Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.		

Tabelle A.2 — Bestimmung der Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC

Korrosionsbeständigkeitsfaktor (CRF)	Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)
$CRF = 1$	I
$0 \geq CRF > -7$	II
$-7 \geq CRF > -15$	III
$-15 \geq CRF \geq -20$	IV
$CRF < -20$	V

Tabelle A.3 — Stahlsorten in jeder Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC

Korrosionsbeständigkeitsklasse CRC ^{a b c}				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571	1.4662	1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4362		
	1.4621	1.4062		
	1.4622	1.4578		
	1.4509			
	1.4521			
	1.4420			
^a Die Stahlsorte einer höheren Klasse darf anstelle der durch den CRF vorgegebenen Klasse verwendet werden. ^b Die Korrosionsbeständigkeitsklassen sind nur für die Anwendung mit diesem Auswahlverfahren für Stahlsorten vorgesehen und gelten nur für Konstruktionen mit tragender Funktion. ^c Die Bruchzähigkeit von ferritischen nichtrostenden Stählen sollte für externe Anwendungen nachgewiesen werden, siehe 5.1.3.				

A.5 Schwimmhallenatmosphäre

(1) Für tragende Bauteile, die der Schwimmhallenatmosphäre ausgesetzt sind, dürfen nur die in Tabelle A.4 angegebenen Stahlsorten verwendet werden.

Tabelle A.4 — Stahlsorten für Schwimmhallenatmosphären

Tragende Bauteile in Schwimmhallenatmosphäre	Korrosionsbeständigkeitsklasse (CRC)
Tragende Bauteile mit regelmäßiger Reinigung	CRC III oder CRC IV
Tragende Bauteile, die nicht regelmäßig gereinigt werden	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)
Alle Befestigungs-, Verbindungsmittel und Gewindeteile	CRC V (außer 1.4410, 1.4501 und 1.4507)
ANMERKUNG Der Nationale Anhang kann festlegen, ob eine weniger häufige Reinigung zulässig ist.	
^a Wenn das Bauteil regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion zu überprüfen und zu reinigen ist, sollte das dem Anwender in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Die Überprüfung, das Reinigungsverfahren und die Häufigkeit sollten festgelegt sein. Je häufiger eine Reinigung erfolgt, desto größer ist der Nutzen. Die Zeitspanne zwischen den Reinigungen sollte nicht größer als eine Woche sein. Ist eine Reinigung festgelegt, sollte sie für alle Teile des Bauwerks gelten und nicht nur für die leicht zugänglichen und gut sichtbaren Bauteile.	

A.6 Korrosionsschutz von Verbindungen mit anderen Metallen

(1) Bimetallkorrosion kann auftreten, wenn unterschiedliche Metalle miteinander in elektrischem Kontakt stehen und der Kontaktbereich einem Elektrolyten (z. B. Wasser oder Boden) ausgesetzt ist. Bimetallkorrosion kann zu zusätzlicher Korrosion eines der Metalle führen, wenn dieses nicht geschützt oder vom anderen Metall nicht elektrisch isoliert ist.

(2) Falls erforderlich, sollte Bimetallkorrosion verhindert werden, indem der nichtrostende Stahl von dem anderen Metall elektrisch isoliert wird. Die elektrische Isolierung kann durch die Verwendung von isolierenden Unterlegscheiben an beiden Seiten der Verbindung oder durch eine auf die nichtrostenden Stahlbauteile aufgetragene Schutzbeschichtung erreicht werden.

(3) Besondere Maßnahmen sollten unternommen werden, um die Dauerhaftigkeit der Schweißnähte zwischen nichtrostendem Stahl und anderen Metallen (üblicherweise Baustahl) sicherzustellen, beispielsweise sollte die Schweißnaht beschichtet sein und die Beschichtung mindestens 75 mm auf die Oberfläche des nichtrostenden Stahls aufgebracht werden.

A.7 Verzinkung und Kontakt mit geschmolzenem Zink

(1) Die Feuerverzinkung von Bauteilen aus nichtrostendem Stahl ist nicht zulässig, da der Kontakt mit geschmolzenem Zink zur Versprödung des nichtrostenden Stahls führen kann.

(2) Vorsichtsmaßnahmen sollten getroffen werden, um sicherzustellen, dass im Fall eines Brandes kein geschmolzenes Zink vom verzinkten Stahl auf den nichtrostenden Stahl tropfen oder laufen kann und damit eine Versprödung verursacht. Zusätzlich besteht das Risiko von Versprödung, wenn ein Bauteil aus nichtrostendem Stahl mit einem Bauteil aus Baustahl verbunden und anschließend feuerverzinkt wird.

Anhang B (normativ)

Verformungsbasierte Bemessung (Continuous strength method – CSM)

B.1 Anwendung dieses Anhangs

(1) Dieser normative Anhang enthält zusätzliche Festlegungen für die Bestimmung von Querschnittstragfähigkeiten, die den günstigen Einfluss der Teilplastizierung und der Verfestigung ausnutzen.

B.2 Anwendungsbereich und Anwendungsfeld

(1) Dieser normative Anhang gilt für I-Profile, C-Profile, T-Profile, Winkel und rechteckige sowie runde Hohlprofile, die den Querschnitts-Grenزشlankheiten in B.5 und den Bauteil-Grenزشlankheiten in 8.3.2.1(3) und 8.3.3.1(3) genügen.

B.3 Allgemeines

(1) Für kaltgeformte Querschnitte dürfen in diesem Anhang die durchschnittliche erhöhte Streckgrenze f_{ya} und die durchschnittliche Zugfestigkeit f_{ua} des Querschnittes, berechnet nach 5.1.2.3, anstelle von f_y bzw. f_u verwendet werden.

B.4 Werkstoffmodellierung

(1) Das bi-linear elastische, linear verfestigende CSM-Materialmodell ist in Bild B.1 dargestellt, wobei die Werkstoffkoeffizienten (C_1 , C_2 und C_3), die zur Definition des Werkstoffmodells herangezogen werden, in Tabelle B.1 angegeben sind.

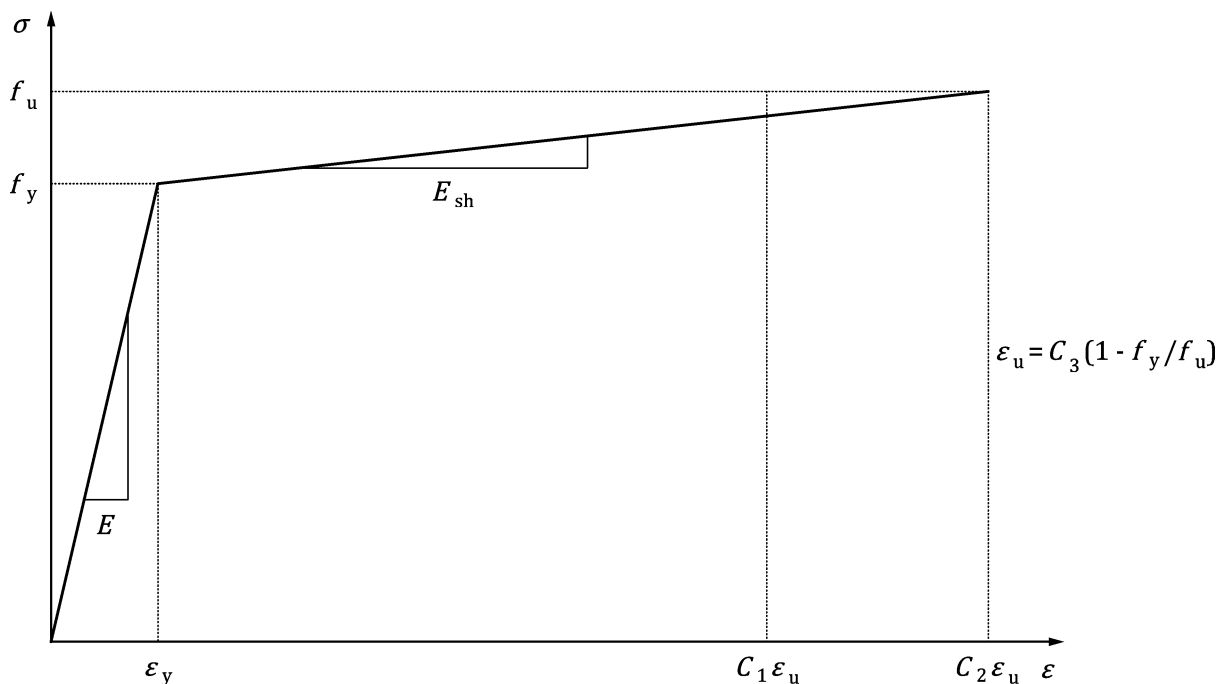


Bild B.1 — Bi-linear elastisches, linear verfestigendes CSM-Materialmodell

Die in Bild B.1 verwendeten Ausdrücke sind wie folgt definiert:

f_y die Streckgrenze;

ε_y die elastische Dehnung an der Streckgrenze, gegeben durch f_y/E ;

E der Elastizitätsmodul;

E_{sh} der Verfestigungsmodul, gegeben durch:

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{C_2 \varepsilon_u - \varepsilon_y} \quad (B.1)$$

f_u die Zugfestigkeit;

ε_u die Bruchdehnung, zugehörig zur Zugfestigkeit f_u , gegeben durch:

$$\varepsilon_u = C_3 (1 - f_y/f_u) \quad (B.2)$$

Tabelle B.1 — CSM-Werkstoffmodellkoeffizienten

Nichtrostender Stahl	C_1	C_2	C_3
Austenitisch	0,10	0,16	1,00
Duplex	0,10	0,16	1,00
Ferritisch	0,40	0,45	0,60

B.5 Querschnittsverformungsvermögen

B.5.1 Grundlinie

(1) Das bezogene Verformungsvermögen von Querschnitten aus ebenen Blechen und runden Hohlprofilen sollte mit Gleichung (7.9) bzw. Gleichung (B.3) auf Grundlage des Schlankheitsgrades des Querschnittes, der nach B.5.2 berechnet wird, bestimmt werden. Die obere Grenzsclankheit von $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1,0$ in Gleichung (7.9) darf bei Verwendung mit den in diesem Anhang angegebenen Widerstandsgleichungen auf $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1,6$ erweitert werden.

Für runde Hohlprofile

$$\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{4,44 \times 10^{-3}}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{4,5}} \leq \min \left(\Omega, \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y} \right) & \text{for } \bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,30 \\ \left(1 - \frac{0,224}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{0,342}} \right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{0,342}} & \text{for } 0,30 < \bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,60 \end{cases} \quad (B.3)$$

Dabei ist

ε_{csm} die CSM-Grenzdehnung;

$\bar{\lambda}_{p,cs}$ der Schlankheitsgrad des Querschnittes für Profile aus ebenen Blechen (z. B. I-Querschnitte);

$\bar{\lambda}_{c,cs}$ der Schlankheitsgrad des Querschnittes für runde Hohlprofile;

Ω in 7.4.3.5 festgelegt.

B.5.2 Schlankheitsgrad des Querschnittes

(1) Für einen Querschnitt aus ebenen Blechen ist der Schlankheitsgrad des Querschnittes $\bar{\lambda}_{p,cs}$ wie folgt festgelegt:

$$\bar{\lambda}_{p,cs} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,cs}} \quad (B.4)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,cs}$ die elastische kritische Beulspannung des Gesamtquerschnittes. Diese kann mit numerischen Verfahren oder mit den analytischen Ausdrücken in [1] bestimmt werden.

(2) Auf der sicheren Seite darf $\sigma_{cr,cs}$ als die elastische kritische Beulspannung des schlanksten Blechelementes des Querschnitts $\sigma_{cr,p}$ angesetzt werden, bestimmt mit Gleichung (B.5):

$$\sigma_{cr,p} = \frac{k_\sigma \pi^2 E t^2}{12(1 - \nu^2) \bar{b}^2} \quad (B.5)$$

Dabei ist

$\bar{b}$ die Breite des ebenen Blechelementes (siehe 8.2.2(5));

t die Dicke des Blechelementes;

ν die Poisson'sche Zahl;

k_σ der Beulwert entsprechend dem Spannungsverhältnis ψ und den Randbedingungen nach prEN 1993-1-5:2022, 6.4.1, für beidseitig oder einseitig gestützte Querschnittsteile.

(3) Für einen runden Querschnitt ist der Schlankheitsgrad des Querschnittes $\bar{\lambda}_{c,cs}$ wie folgt festgelegt:

$$\bar{\lambda}_{c,cs} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,c}} \quad (B.6)$$

Dabei ist

$\sigma_{cr,c}$ die elastische kritische Beulspannung des Gesamtquerschnittes des runden Hohlprofiles. Sie kann numerisch bestimmt werden; für druckbeanspruchte oder biegebeanspruchte oder gleichzeitig druck- und biegebeanspruchte Bauteile darf sie mit Gleichung (B.7) bestimmt werden:

$$\sigma_{cr,c} = \frac{E}{\sqrt{3(1 - \nu^2)}} \frac{2t}{d} \quad (B.7)$$

Dabei ist

d der Querschnittsdurchmesser;

t die Querschnittsdicke.

B.6 Querschnittstragfähigkeit

B.6.1 Zug

(1) Für Querschnitte aus ebenen Blechen und runde Hohlprofile sollte der Bemessungswert der Normalkraftbeanspruchbarkeit unter Zugbeanspruchung des Querschnittes ohne Löcher wie folgt bestimmt werden:

$$N_{t,Rd} = N_{csm,t,Rd} = \frac{A f_{csm,t}}{\gamma_{M0}} \quad (B.8)$$

Dabei ist

A die Querschnittsfläche;

$f_{csm,t}$ die Bemessungsspannung zugehörig zu $\varepsilon_{csm,t}$, die sich wie folgt ergibt:

$$f_{csm,t} = f_y + E_{sh} \varepsilon_y (\varepsilon_{csm,t} / \varepsilon_y - 1) \quad (B.9)$$

$$\varepsilon_{csm,t} / \varepsilon_y = \min \left\{ 15; \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y} \right\} \quad (B.10)$$

(2) Für Querschnitte aus ebenen Blechen und runde Hohlprofile mit Löchern sollte der Bemessungswert der Normalkraftbeanspruchbarkeit unter Zugbeanspruchung des Nettoquerschnittes nach prEN 1993-1-3:2022, 8.1.2 oder EN 1993-1-1:2022, 8.2.3, soweit zutreffend, bestimmt werden.

B.6.2 Druck

(1) Für Querschnitte aus ebenen Blechen und runde Hohlprofile sollte der Bemessungswert der Normalkraftbeanspruchbarkeit des Querschnittes bei gleichförmigen Druck wie folgt bestimmt werden:

$$N_{c,Rd} = N_{csm,Rd} = \frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{für } \varepsilon_{csm} / \varepsilon_y < 1,0 \quad (B.10)$$

$$N_{c,Rd} = N_{csm,Rd} = \frac{A f_{csm}}{\gamma_{M0}} \quad \text{für } \varepsilon_{csm} / \varepsilon_y \geq 1,0 \quad (B.11)$$

Dabei ist

A die Querschnittsfläche;

f_{csm} die Bemessungsspannung zugehörig zu ε_{csm} , die sich wie folgt ergibt:

$$f_{csm} = f_y + E_{sh} \varepsilon_y (\varepsilon_{csm} / \varepsilon_y - 1) \quad (B.12)$$

B.6.3 Biegung

(1) Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit $M_{csm,Rd}$ nach B.6.3.1 und B.6.3.2 darf für die Bauteilschlankheit $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$ verwendet werden. In dem Fall, dass $M_{csm,Rd}$ größer ist als der nach 8.2.4 bestimmte Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit, darf eine lineare Reduzierung von $M_{csm,Rd}$ auf $M_{c,Rd}$ (bestimmt nach 8.2.4) zwischen $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$ und $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$ erfolgen.

B.6.3.1 Biegung um eine Symmetrieachse

(1) Für doppelt-symmetrische Querschnitte (z. B. I-Profile, rechteckige und runde Hohlprofile) und einfach symmetrische Querschnitte (z. B. C-Profile und T-Profile) mit Biegebeanspruchung um eine Symmetrieachse sollte der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit des Querschnittes mit Gleichung (B.13) oder Gleichung (B.14) auf Grundlage der CSM-Grenzdehnung ε_{csm} , die nach B.5.1 ermittelt wird, bestimmt werden.

$$M_{\text{c,Rd}} = M_{\text{csm,Rd}} = \frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} \frac{W_{\text{el}} f_y}{\gamma_{\text{M0}}} \quad \text{für } \varepsilon_{\text{csm}}/\varepsilon_y < 1,0 \quad (\text{B.13})$$

$$M_{\text{c,Rd}} = M_{\text{csm,Rd}} = \frac{W_{\text{pl}} f_y}{\gamma_{\text{M0}}} \left[1 + \frac{E_{\text{sh}}}{E} \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{pl}}} \left(\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} - 1 \right) - \left(1 - \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{pl}}} \right) / \left(\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} \right)^\alpha \right] \quad \text{für } \varepsilon_{\text{csm}}/\varepsilon_y \geq 1,0 \quad (\text{B.14})$$

Dabei ist

W_{el} das elastische Widerstandsmoment des Querschnittes;

W_{pl} das plastische Widerstandsmoment des Querschnittes;

α der CSM-Biegeparameter, wie in Tabelle B.2 angegeben.

B.6.3.2 Biegung um eine Achse, die keine Symmetrieachse ist

(1) Bei asymmetrischen Querschnitten (z. B. Winkel) und einfach symmetrischen Querschnitten (z. B. C-Profile und T-Querschnitte) mit Biegung um eine Achse, die keine Symmetrieachse ist, sollte die CSM-Druck-Grenzdehnung nach Gleichung (7.9) bestimmt werden. Die zugehörige Zugdehnung der entsprechenden Randfaser $\varepsilon_{\text{csm,t}}$ darf dann unter der Annahme einer linear veränderlichen Dehnungsverteilung über die Dicke bestimmt und der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit wie folgt berechnet werden:

- Zunächst darf $\varepsilon_{\text{csm,t}}$ basierend auf der Lage der neutralen Achse im elastischen Bereich (ENA, en: elastic neutral axis) berechnet werden. Der Höchstwert der Bemessungsdehnung $\varepsilon_{\text{csm,max}}$ sollte dann als der größere Wert von ε_{csm} und $\varepsilon_{\text{csm,t}}$ angesetzt werden.
- Wenn $\varepsilon_{\text{csm,max}} \leq \varepsilon_y$, dann darf die Verwendung der ENA in der Berechnung von $\varepsilon_{\text{csm,t}}$ als geeignet angesehen werden und der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit sollte mit Gleichung (B.13) berechnet werden, wobei ε_{csm} durch $\varepsilon_{\text{csm,max}}$ ersetzt wird.
- Wenn $\varepsilon_{\text{csm,max}} > \varepsilon_y$, dann sollte die Lage der neutralen Achse basierend auf dem Querschnitts-gleichgewicht neu berechnet werden, oder es darf zur Annäherung davon ausgegangen werden, dass sie mittig zwischen den neutralen Achsen im elastischen und plastischen Bereich liegt. $\varepsilon_{\text{csm,t}}$ und $\varepsilon_{\text{csm,max}}$ sollten dann anhand der neuen Lage der neutralen Achse neu berechnet werden.
- Der Bemessungswert der Biegemomentenbeanspruchbarkeit sollte dann mit Gleichung (B.14) bestimmt werden, wobei ε_{csm} durch $\varepsilon_{\text{csm,max}}$ ersetzt wird, und unter Einsatz der Werte des Biegeparameters α aus Tabelle B.2.

Tabelle B.2 — CSM-Biegeparameter α

Querschnittsart	Biegeachse	Seitenverhältnis	α
Rechteckiges Hohlprofil	beliebig	beliebig	2,0
Rundes Hohlprofil	beliebig	—	2,0
I-Profil	Hauptachse	beliebig	2,0
	Nebenachse	beliebig	1,2

Querschnittsart	Biegeachse	Seitenverhältnis	α
C-Profil	Hauptachse	beliebig	2,0
	Nebenachse	$h/b < 2$	1,5
		$h/b \geq 2$	1,0
T-Profil	Hauptachse	$h/b < 1$	1,0
		$h/b \geq 1$	1,5
	Nebenachse	beliebig	1,2
Gleichschenkliger Winkel	beliebig	—	1,0
Ungleichschenkliger Winkel	Hauptachse	beliebig	1,5
	Nebenachse	beliebig	1,0

B.6.4 Kombinierte Biegung und Normalkraft

B.6.4.1 Rechteckige Hohlprofile unter kombinierter Beanspruchung

(1) Für rechteckige Hohlprofile mit $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,60$, die einer einachsigen Biegung in Kombination mit Druckbeanspruchung ausgesetzt sind, sollten die Kriterien von Gleichung (B.15) und Gleichung (B.16) bei Biegung um die starke Achse bzw. um die schwache Achse erfüllt sein. Bei zweiachsiger Biegung in Kombination mit Druck sollten die Kriterien von Gleichung (B.17) erfüllt sein.

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,cs,y,Rd} = M_{cs,y,Rd} \frac{(1 - n_{cs})}{(1 - 0,5a_w)} \leq M_{cs,y,Rd} \quad (B.15)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,cs,z,Rd} = M_{cs,z,Rd} \frac{(1 - n_{cs})}{(1 - 0,5a_f)} \leq M_{cs,z,Rd} \quad (B.16)$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,cs,y,Rd}} \right]^{\alpha_{cs}} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,cs,z,Rd}} \right]^{\beta_{cs}} \leq 1 \quad (B.17)$$

Dabei ist/sind

$M_{y,Ed}$	der Bemessungswert des Biegemomentes um die starke (y-y)-Achse;
$M_{z,Ed}$	der Bemessungswert des Biegemomentes um die schwache (z-z)-Achse;
$M_{N,cs,y,Rd}$	der Bemessungswert der abgeminderten CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die starke (y-y)-Achse;
$M_{N,cs,z,Rd}$	der Bemessungswert der abgeminderten CSM-Biegemomentenbeanspruchbarkeit um die schwache (z-z)-Achse;
a_w	das Verhältnis der Stegfläche zur Bruttoquerschnittsfläche;
a_f	das Verhältnis der Flanschfläche zur Bruttoquerschnittsfläche;
n_{cs}	das Verhältnis des Bemessungswertes der Normalkraft (Druck) N_{Ed} zum Bemessungswert der CSM-Normalkraftbeanspruchbarkeit (Druck) $N_{cs,Rd}$;
α_{cs} und β_{cs}	die Interaktionskoeffizienten für zweiachsige Biegung, gleich $1,66/(1 - 1,13n_{cs}^2)$.

(2) Für rechteckige Hohlprofile mit $\bar{\lambda}_{p,cs} > 0,60$ sollten die Kriterien von Gleichung (B.18) erfüllt sein.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{csm,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{csm,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{csm,z,Rd}} \leq 1 \quad (B.18)$$

B.6.4.2 I-Querschnitte unter kombinierter Beanspruchung

(1) Für I-Querschnitte mit $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,60$, die einer einachsigen Biegung in Kombination mit Druckbeanspruchung ausgesetzt sind, sollten die Kriterien von Gleichung (B.19), Gleichung (B.20) und Gleichung (B.21) bei Biegung um die starke Achse bzw. um die schwache Achse erfüllt sein. Bei zweiachsiger Biegung in Kombination mit Druck sollten die Kriterien von Gleichung (B.17) erfüllt sein.

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,csm,y,Rd} = M_{csm,y,Rd} \frac{(1 - n_{csm})}{(1 - 0,5a)} \leq M_{csm,y,Rd} \quad (B.19)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,csm,z,Rd} = M_{csm,z,Rd} \quad \text{für } n_{csm} \leq a \quad (B.20)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,csm,z,Rd} = M_{csm,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n_{csm} - a}{1 - a} \right)^2 \right] \leq M_{csm,z,Rd} \quad \text{für } n_{csm} > a \quad (B.21)$$

Dabei ist

$$a = (A - 2bt_f)/A$$

$\alpha_{csm} = 2$ und $\beta_{csm} = 5n_{csm}$, aber $\beta_{csm} \geq 1$, sind die Interaktionskoeffizienten für zweiachsige Biegung.

(2) Für I-Querschnitte mit $\bar{\lambda}_{p,cs} > 0,60$ sollten die Kriterien von Gleichung (B.18) erfüllt sein.

B.6.4.3 Runde Hohlprofile unter kombinierter Beanspruchung

(1) Für runde Hohlprofile mit $\bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,27$ sollten die Kriterien von Gleichung (B.22) erfüllt sein:

$$M_{Ed} \leq M_{N,csm,Rd} = M_{csm,Rd} (1 - n_{csm}^{1,7}) \quad (B.22)$$

(2) Für runde Hohlprofile mit $\bar{\lambda}_{c,cs} > 0,27$ sollten die Kriterien von Gleichung (B.23) erfüllt sein:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{csm,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{csm,Rd}} \leq 1 \quad (B.23)$$

Literaturhinweise

In Empfehlungen enthaltene Verweisungen (d. h. durch „sollte“-Sätze)

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt nachdrücklich empfohlene Entscheidungen oder Verfahrensweisen darstellen. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen könnten alternative Dokumente verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind. 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] EN 10088 (alle Teile), *Nichtrostende Stähle*
- [2] EN ISO 3506-1, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen — Teil 1: Schrauben mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-1)*
- [3] EN ISO 3506-2, *Mechanische Verbindungselemente — Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen — Teil 2: Muttern mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen (ISO 3506-2)*
- [4] EN ISO 7089, *Flache Scheiben — Normale Reihe — Produktklasse A (ISO 7089)*
- [5] EN ISO 7090, *Flache Scheiben mit Fase — Normale Reihe — Produktklasse A (ISO 7090)*
- [6] EN 10028-7, *Flacherzeugnisse aus Druckbehälterstählen — Teil 7: Nichtrostende Stähle*
- [7] EN 10296-2, *Geschweißte kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Nichtrostende Stähle*
- [8] EN 10297-2, *Nahtlose kreisförmige Stahlrohre für den Maschinenbau und allgemeine technische Anwendungen — Technische Lieferbedingungen — Teil 2: Rohre aus nichtrostenden Stählen*

In Erlaubnissen enthaltene Verweisungen (d. h. durch „darf“-Sätze)

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes beschreiben. 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).

- [9] EN ISO 9225, *Korrosion von Metallen und Legierungen — Korrosivität von Atmosphären — Messung der die Korrosivität von Atmosphären beeinflussenden Umweltparameter (ISO 9225)*
- [10] EN ISO 21920-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Profile — Teil 2: Begriffe und Kenngrößen für die Oberflächenbeschaffenheit (ISO 21920-2)*
- [11] Gardner, L., Fieber, A. and Macorini, L. (2019). Formulae for calculating elastic local buckling stresses of full structural cross-sections. *Structures*. 17, 2-20.
- [12] Fieber, A., Gardner, L. and Macorini, L. (2019). Formulae for determining elastic local buckling half-wavelength of structural steel cross-sections. *Journal of Constructional Steel Research*. 159, 493-506.

In Möglichkeiten (d. h. durch „kann“-Sätze) und in Anmerkungen enthaltene Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Dokument informativ in Bezug genommen, z. B. durch „kann“-Sätze und in Anmerkungen.

- [13] SCI (2017). Design Manual for Structural Stainless Steel 4th Edition — Commentary. The Steel Construction Institute. Berkshire, UK. Abrufbar unter www.steel-stainless.org/designmanual
- [14] EAD 330046-01-0602: Fastenings Screws for Metal Members and Sheeting. Abrufbar unter: www.eota.eu
- [15] ECCS Publication No. 124; 2009, *The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections*. ECCS European convention for steel construction. Brüssel. Abrufbar unter: www.steelconstruct.com

- Entwurf -

- Entwurf -

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

DRAFT
prEN 1993-1-4

March 2023

ICS 91.010.30; 91.080.13

Will supersede EN 1993-1-4:2006

English Version

Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: Stainless steel structures

Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-4:
Règles générales - Règles supplémentaires pour les
aciers inoxydables

Eurocode 3 - Bemessung und Konstruktion von
Stahlbauten - Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln -
Ergänzende Regeln zur Anwendung von
nichtrostenden Stählen

This draft European Standard is submitted to CEN members for enquiry. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/TC 250.

If this draft becomes a European Standard, CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

This draft European Standard was established by CEN in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN-CENELEC Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye and United Kingdom.

Recipients of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

Warning : This document is not a European Standard. It is distributed for review and comments. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels

Contents

Page

European foreword	4
0 Introduction.....	5
1 Scope.....	8
1.1 Scope of EN 1993-1-4	8
1.2 Assumptions	8
2 Normative references.....	8
3 Terms, definitions and symbols	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Symbols and abbreviations	9
4 Basis of design.....	12
4.1 General rules	12
4.1.1 Basic requirements	12
4.2 Design assisted by testing.....	12
5 Materials	12
5.1 Structural stainless steels.....	12
5.1.1 General.....	12
5.1.2 Material properties.....	13
5.1.3 Fracture toughness.....	16
5.1.4 Through-thickness properties	19
5.1.5 Values of other material properties.....	19
5.2 Connecting devices.....	20
5.2.1 Fasteners.....	20
5.2.2 Preloaded bolts.....	20
5.2.3 Welding consumables	20
6 Durability.....	21
7 Structural analysis.....	21
7.1 Structural modelling for analysis	21
7.2 Global analysis	21
7.2.1 Consideration of second order effects.....	21
7.3 Imperfections	21
7.3.1 Equivalent bow imperfection for global and member design	21
7.3.2 Imperfection based on elastic critical buckling modes.....	21
7.4 Methods of analysis considering material non-linearities	22
7.4.1 General.....	22
7.4.2 Elastic global analysis	22
7.4.3 Plastic global analysis	23
7.5 Classification of cross-sections	27
8 Ultimate limit states.....	31
8.1 Partial factors.....	31
8.2 Resistance of cross-sections	32
8.2.1 General.....	32
8.2.2 Effective cross-section properties	32
8.2.3 Compression	34
8.2.4 Bending.....	34

8.2.5	Shear	34
8.2.6	Resistance to transverse forces	35
8.2.7	Transverse web stiffeners	36
8.3	Buckling resistance of members	36
8.3.1	General	36
8.3.2	Uniform members in compression	36
8.3.3	Uniform members in bending	37
8.3.4	Uniform members in bending and axial compression	38
9	Serviceability limit states	41
9.1	General	41
9.2	Determination of deflections	41
10	Connection design	42
10.1	General	42
10.2	Bolted connections	42
10.3	Design of welds	46
11	Fatigue	47
12	Fire resistance	47
Annex A (normative)	Selection of materials and durability	48
A.1	Use of this Annex	48
A.2	Scope and field of Application	48
A.3	Corrosion protection of construction products — Requirements	48
A.4	Selection of materials	48
A.5	Swimming pool environments	51
A.6	Corrosion protection of connections with other metals	52
A.7	Galvanizing and contact with molten zinc	52
Annex B (normative)	Continuous strength method	53
B.1	Use of this Annex	53
B.2	Scope and field of Application	53
B.3	General	53
B.4	Material modelling	53
B.5	Cross-section deformation capacity	54
B.6	Resistance of cross-sections	55
Bibliography		60

European foreword

This document (prEN 1993-1-4:2023) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 250 “Structural Eurocodes”, the secretariat of which is held by BSI. CEN/TC 250 is responsible for all Structural Eurocodes and has been assigned responsibility for structural and geotechnical design matters by CEN.

This document is currently submitted to the CEN Enquiry.

This document will supersede EN 1993-1-4:2006 and its amendments.

The first generation of EN Eurocodes was published between 2002 and 2007. This document forms part of the second generation of the Eurocodes, which have been prepared under Mandate M/515 issued to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association.

The Eurocodes have been drafted to be used in conjunction with relevant execution, material, product and test standards, and to identify requirements for execution, materials, products and testing that are relied upon by the Eurocodes.

The Eurocodes recognize the responsibility of each Member State and have safeguarded their right to determine values related to regulatory safety matters at national level through the use of National Annexes.

0 Introduction

0.1 Introduction to the Eurocodes

The Structural Eurocodes comprise the following standards generally consisting of a number of Parts:

- EN 1990 Eurocode: Basis of structural and geotechnical design
- EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures
- EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures
- EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures
- EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures
- EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures
- EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures
- EN 1997 Eurocode 7: Geotechnical design
- EN 1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
- EN 1999 Eurocode 9: Design of aluminium structures
- New parts are under development, e.g. Eurocode for design of structural glass

The Eurocodes are intended for use by designers, clients, manufacturers, constructors, relevant authorities (in exercising their duties in accordance with national or international regulations), educators, software developers, and committees drafting standards for related product, testing and execution standards.

NOTE Some aspects of design are most appropriately specified by relevant authorities or, where not specified, can be agreed on a project-specific basis between relevant parties such as designers and clients. The Eurocodes identify such aspects making explicit reference to relevant authorities and relevant parties.

0.2 Introduction to EN 1993 (all parts)

EN 1993 (all parts) applies to the design of buildings and civil engineering works in steel. It complies with the principles and requirements for the safety and serviceability of structures, the basis of their design and verification that are given in EN 1990 – Basis of structural design.

EN 1993 (all parts) is concerned only with requirements for resistance, serviceability, durability and fire resistance of steel structures. Other requirements, e.g. concerning thermal or sound insulation, are not covered.

EN 1993 is subdivided in various parts:

EN 1993-1, *Design of Steel Structures — Part 1: General rules and rules for buildings*;

EN 1993-2, *Design of Steel Structures — Part 2: Steel bridges*;

EN 1993-3, *Design of Steel Structures — Part 3: Towers, masts and chimneys*;

EN 1993-4, *Design of Steel Structures — Part 4: Silos and tanks*;

EN 1993-5, *Design of Steel Structures — Part 5: Piling*;

EN 1993-6, *Design of Steel Structures — Part 6: Crane supporting structures*;

EN 1993-7, *Design of steel structures — Part 7: Design of sandwich panels*.

EN 1993-1 in itself does not exist as a physical document, but comprises the following 14 separate parts, the basic part being EN 1993-1-1:

EN 1993-1-1, *Design of Steel Structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings*;

EN 1993-1-2, *Design of Steel Structures — Part 1-2: Structural fire design*;

EN 1993-1-3, *Design of Steel Structures — Part 1-3: Cold-formed members and sheeting*;

NOTE Cold-formed hollow sections supplied according to EN 10219 are covered in EN 1993-1-1.

EN 1993-1-4, *Design of Steel Structures — Part 1-4: Stainless steel structures*;

EN 1993-1-5, *Design of Steel Structures — Part 1-5: Plated structural elements*;

EN 1993-1-6, *Design of Steel Structures — Part 1-6: Strength and stability of shell structures*;

EN 1993-1-7, *Design of Steel Structures — Part 1-7: Strength and stability of planar plated structures transversely loaded*;

EN 1993-1-8, *Design of Steel Structures — Part 1-8: Design of joints*;

EN 1993-1-9, *Design of Steel Structures — Part 1-9: Fatigue*;

EN 1993-1-10, *Design of Steel Structures — Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties*;

EN 1993-1-11, *Design of Steel Structures — Part 1-11: Design of structures with tension components*;

EN 1993-1-12, *Design of Steel Structures — Part 1-12: Additional rules for steel grades up to S960*;

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

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

All subsequent parts EN 1993-1-2 to EN 1993-1-14 treat general topics that are independent from the structural type such as structural fire design, cold-formed members and sheeting, stainless steels, plated structural elements, etc.

All subsequent parts numbered EN 1993-2 to EN 1993-7 treat topics relevant for a specific structural type such as steel bridges, towers, masts and chimneys, silos and tanks, piling, crane supporting structures, etc. EN 1993-2 to EN 1993-7 refer to the generic rules in EN 1993-1 and supplement, modify or supersede them.

0.3 Introduction to prEN 1993-1-4

prEN 1993-1-4 gives supplementary rules for the structural design of steel structures that extend and modify the application of EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8 to stainless steels. The focus is on design methods and design rules for members and skeletal structures regarding resistance and stability.

0.4 Verbal forms used in the Eurocodes

The verb “shall” expresses a requirement strictly to be followed and from which no deviation is permitted in order to comply with the Eurocodes.

The verb “should” expresses a highly recommended choice or course of action. Subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative approaches could be used/adopted where technically justified.

The verb “may” expresses a course of action permissible within the limits of the Eurocodes.

The verb “can” expresses possibility and capability; it is used for statements of fact and clarification of concepts.

0.5 National Annex for prEN 1993-1-4

National choice is allowed in this standard where explicitly stated within notes. National choice includes the selection of values for Nationally Determined Parameters (NDPs).

The national standard implementing prEN 1993-1-4 can have a National Annex containing all national choices to be used for the design of steel structures to be constructed in the relevant country.

When no national choice is given, the default choice given in this standard is to be used.

When no national choice is made and no default is given in this standard, the choice can be specified by a relevant authority or, where not specified, agreed for a specific project by appropriate parties.

National choice is allowed in prEN 1993-1-4 through the following clauses:

5.1.1(1)	5.2.2(1)	7.2.1(1)	7.4.3.5(3)
8.1(1)	A.2(8)	A.3, Table A.4	

The National Annex can contain, directly or by reference, non-contradictory complementary information for ease of implementation, provided it does not alter any provisions of the Eurocodes.

1 Scope

1.1 Scope of prEN 1993-1-4

This document provides supplementary rules for the structural design of steel structures that extend and modify the application of EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8 to austenitic, duplex (austenitic-ferritic) and ferritic stainless steels.

NOTE 1 Austenitic-ferritic stainless steels are commonly known as duplex stainless steels. The term duplex stainless steel is used in this document.

NOTE 2 Information on the durability of stainless steels is given in Annex A.

NOTE 3 The execution of stainless steel structures is covered in EN 1090-2 and EN 1090-4.

1.2 Assumptions

Unless specifically stated, EN 1990, EN 1991 (all parts), EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8 apply.

The design methods given in prEN 1993-1-4 are applicable if

- the execution quality is as specified in EN 1090-2 and EN 1090-4, and
- the construction materials and products used are as specified in EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8, or in the relevant material and product specifications.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

NOTE See the Bibliography for a list of other documents cited that are not normative references, including those referenced as recommendations (i.e. through 'should' clauses) and permissions (i.e. through 'may' clauses).

EN 1090-2, *Execution of steel structures and aluminium structures — Part 2: Technical requirements for steel structures*

EN 1090-4, *Execution of steel structures and aluminium structures — Part 4: Technical requirements for cold-formed structural steel elements and cold-formed structures for roof, ceiling, floor and wall applications*

EN 1990, *Basis of structural and geotechnical design*

EN 1991 (all parts), *Actions on structures*

EN 1993-1-1, *Design of Steel Structures — Part 1-1: General rules and rules for buildings*

EN 1993-1-3, *Design of Steel Structures — Part 1-3: Cold-formed members and sheeting*

EN 1993-1-5, *Design of Steel Structures — Part 1-5: Plated structural elements*

EN 1993-1-8, *Design of Steel Structures — Part 1-9: Fatigue*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in EN 1990, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8 apply.

3.2 Symbols and abbreviations

3.2.1 General

For the purposes of this document, the symbols given in EN 1990, EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8 and the following apply.

3.2.2 Latin upper-case symbols

A_c	total corner cross-sectional area of the section
CRF	corrosion resistance factor
CSM	continuous strength method
C_1, C_2, C_3	material coefficients used to define the CSM material model
E_s	secant modulus
E_{sh}	strain hardening modulus
$E_{s,ser}$	secant modulus of elasticity used for serviceability limit state calculations
$E_{s,1}$	secant modulus corresponding to the stress in the tension flange
$E_{s,2}$	secant modulus corresponding to the stress in the compression flange
$F_{p,S}$	preloading force for bolts
F_{Rd}	design value of the resistance of the structure calculated from F_{Rk}
F_{Rk}	characteristic value of the resistance of the structure, taken at the peak load factor attained during the plastic zone analysis or the point at which the CSM strain limit is reached, whichever is the lesser
F_1	risk of exposure to chlorides from salt water or deicing salts
F_2	risk of exposure to sulfur dioxide
F_3	cleaning regime or exposure to washing by rain
K	initial lateral stiffness of the structure
K_s	secant lateral stiffness of the structure at the design load level
KV	impact energy in Joule [J] from a Charpy V notch specimen
$L_{b,cs}$	local buckling half-wavelength
M	distance from the sea

$M_{\text{csm,Rd}}$	design value of the CSM resistance to bending moment about one principal axis of a cross-section
$M_{\text{csm,y,Rd}}$	design value of the CSM bending moment resistance about major (y-y) axis
$M_{\text{csm,z,Rd}}$	design value of the CSM bending moment resistance about minor (z-z) axis
$M_{\text{N,csm,y,Rd}}$	design value of the reduced CSM bending moment resistance about major (y-y) axis making allowance for the presence of axial force
$M_{\text{N,csm,z,Rd}}$	design value of the reduced CSM bending moment resistance about minor (z-z) axis making allowance for the presence of axial force
$N_{\text{csm,Rd}}$	design value of the CSM resistance to axial force of the cross-section for uniform compression
$N_{\text{csm,t,Rd}}$	design value of the CSM resistance to tension axial force
$R_{\text{p0,2}}$	stress at which the plastic extension is 0,2 % (i.e. 0,2 % proof strength), taken from the product standard
S	distance from roads with deicing salts
Y	factor that approximates loss of stiffness due to second order effects

3.2.3 Latin lower-case symbols

f_{ua}	average ultimate tensile strength, accounting for work hardening due to cold-forming
f_{ub}	nominal ultimate tensile strength of stainless steel bolts
f_{yb}	nominal yield strength of stainless steel bolts
f_{yCHS}	enhanced yield strength of a cold rolled circular hollow section
f_{yc}	enhanced yield strength of the corner region
f_{yf}	enhanced yield strength of the flat portions of cold-rolled rectangular hollow sections
k_{s}	coefficient for calculating the slip resistance of preloaded bolts
n	strain hardening exponent
n_{c}	number of 90° corners in the section
n_{csm}	ratio of the design compression force N_{Ed} to the CSM compression resistance $N_{\text{csm,Rd}}$
n_{p}	is the exponent used in the calculation of the enhanced yield strength

3.2.4 Greek upper-case symbols

Ω	a project specific parameter that defines the permissible level of plastic deformation
----------	--

3.2.5 Greek lower-case symbols

α	CSM bending parameter
$\alpha_{cr,sw,mod}$	modified factor by which the design load would have to be increased to cause elastic instability in a global (sway) mode to account for the influence of plasticity on the sway stiffness of frame
α_{csm}	CSM interaction coefficient for biaxial bending
β_{csm}	CSM interaction coefficient for biaxial bending
β_w	correlation factor for fillet welded connections
ε_{CHS}	strain induced in a circular hollow section during section forming
ε_c	strain induced in the corner region during section forming
ε_{csm}	limiting compressive strain from the continuous strength method
$\varepsilon_{csm,max}$	maximum design CSM strain
$\varepsilon_{csm,t}$	maximum attainable CSM tensile strain
ε_{Ed}	design strain
ε_f	strain induced in the flat faces of rectangular hollow sections during section forming
$\varepsilon_{p0,2}$	is the total strain corresponding to the 0,2 % proof strength
ε_u	ultimate strain, corresponding to the ultimate tensile strength f_u
ε_y	elastic strain at the yield strength
$\bar{\lambda}_0$	limiting relative slenderness
$\bar{\lambda}_m$	relative slenderness of the member determined at the critical cross-section m
$\bar{\lambda}_{c,cs}$	cross-section slenderness for circular hollow sections
$\bar{\lambda}_{p,cs}$	cross-section slenderness for sections comprising flat plates
μ	slip factor
ρ_{csm}	reduction factor to account for the interaction between bending and shear
$\sigma_{cr,c}$	elastic buckling stress of the full cross-section of the circular hollow section
$\sigma_{cr,cs}$	elastic local buckling stress of the full cross-section
$\sigma_{i,Ed,ser}$	serviceability design stress

4 Basis of design

4.1 General rules

4.1.1 Basic requirements

(1) The design of stainless steel structures shall be in accordance with the general rules given in EN 1990 and EN 1991 (all parts) and the specific design provisions for steel structures given in EN 1993-1-1, EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 and EN 1993-1-8.

(2) Steel structures designed according to this document shall be executed according to EN 1090-2 and EN 1090-4 with construction materials and products used as specified in the relevant parts of EN 1993, or in the relevant material and product specifications.

4.2 Design assisted by testing

(1) Prototypes for testing should be produced in a similar manner to the components of the final product, such that they reflect the same levels of work hardening.

(2) Due to the anisotropy of cold worked stainless steels, test specimens should be prepared from the plate or sheet in the same orientation (i.e. transverse or parallel to the rolling direction) as intended for the final structure. If the final orientation is unknown or cannot be guaranteed, tests should be conducted for both orientations and the less favourable result should be adopted.

5 Materials

5.1 Structural stainless steels

5.1.1 General

(1) For the design of austenitic, duplex and ferritic stainless steel structures according to this document, the material should conform with one of the grades in Table A.3, and with one of the following product standards: EN 10088, EN 10028-7, 10296-2 and 10297-2.

NOTE 1 The most common stainless steel grades from Table A.3 are listed in Table 5.1 in accordance with their Corrosion Resistance Class and Strength Class.

NOTE 2 Other stainless steel grades and products can be defined in the National Annex.

(2) If other stainless steel grades than those mentioned in (1) are used, their mechanical properties shall conform to the conditions given in 5.1.2.1(4), 5.1.3 and 5.1.4 when tested in accordance with the relevant EN, ISO or EN ISO testing standards. If relevant, specialist advice should be sought regarding the durability, fabrication, weldability, fatigue resistance and high temperature performance of these grades.

Table 5.1 — Strength and corrosion classes for common stainless steels

Corrosion Resistance Class (see Annex A)	Strength Class			
	SC210		SC450	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
	210	500	450	650
I	1.4003 ^a (F)			
II	1.4301 (A)		1.4482 (D)	
	1.4307 (A)			
III	1.4401 (A)		1.4162 (D)	
	1.4404 (A)		1.4362 ^b (D)	
	1.4435 (A)		1.4062 (D)	
	1.4571 (A)			
IV			1.4462 (D)	
			1.4662 (D)	
V			1.4410 (D)	
			1.4501 (D)	
NOTE 1 F = ferritic, A = austenitic and D = duplex stainless steels.				
NOTE 2 The most common austenitic stainless steels are 1.4301/1.4307 and 1.4401/1.4404.				
NOTE 3 The strengths apply to sheet, plate, and strip, and products fabricated from sheet, plate and strip. The strengths also apply to cold-formed hollow sections where the strength enhancement arising from fabrication is not taken into account.				
NOTE 4 For rods, bars, hot rolled open sections and seamless tubes, $f_y = 180$ N/mm ² for the grades in Strength Class SC210, and EN 10088 gives values for f_y for grades in Strength Class SC450.				
NOTE 5 Table A.3 categorises a wider selection of stainless steels into Corrosion Resistance Classes.				
a	$f_y = 250$ - 280 N/mm ² for 1.4003, depending on the product form, and $f_u = 450$ N/mm ² . For rod, only f_u values apply.			
b	$f_y = 400$ N/mm ²			

5.1.2 Material properties

5.1.2.1 General

(1) The nominal values of the yield strength f_y and the ultimate tensile strength f_u for stainless steel should be obtained:

a) either by using the Strength Classes given in Table 5.1;

b) or by adopting the values $f_y = R_{p0,2}$ and $f_u = R_m$ (as lower bound of the given range) directly from the product standard.

NOTE The product standard can give higher strength values than Table 5.1, depending on the product form.

The strength of grades not listed in Table 5.1 should be taken from the product standard.

(2) Higher strength values may be derived from cold working of the sheet material, as given in 5.1.2.2 and Table 5.2 or during fabrication of cold-formed sections, as given in 5.1.2.3.

- (3) The strength enhancement from cold working should not be used for members which are to be welded or subject to heat treatment unless the localised reduction in strength due to annealing is determined from tests on the full-cross-section.
- (4) The ductility requirements in EN 1993-1-1 shall also apply to stainless steels. Steels conforming to one of the steel grades listed in Table 5.1 may be assumed to satisfy these requirements. The steels listed in Table 5.2 should have declared properties that meet the ductility requirements given in EN 1993-1-1.
- (5) Where cold working increases the member resistance (see 5.1.2.3), the design of joints should be consistent with this increased member resistance, especially where capacity design is required.

5.1.2.2 Material in the cold worked condition

- (1) This document covers the design of austenitic stainless steel material in the cold worked conditions CP350 and CP500. The nominal values of the yield strength and the ultimate tensile strength are given in Table 5.2.
- (2) According to EN 10088-4, the CP classification only defines the required 0,2% proof strength, f_y . Therefore, the steel should have declared properties that meet the conservative tabulated values for ultimate tensile strength, f_u , unless type testing demonstrates the acceptability of higher values.

Table 5.2 — Nominal values of the yield strength f_y and the ultimate tensile strength f_u for austenitic stainless steels in the cold worked condition

Cold Worked Condition	f_y (N/mm ²) ^a			f_u (N/mm ²)
	Grade	Tension	Compression	
CP350	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	350	315	600
CP500	1.4301, 1.4541, 1.4401, 1.4571	470	350	650
	1.4318	430		
^a EN 10088 gives minimum specified 0,2% proof strengths in tension in the transverse direction of 350 N/mm ² and 500 N/mm ² for CP350 and CP500, respectively. The reduced values for f_y given in this table account for the anisotropic and asymmetric behaviour of cold worked material. No reduction is required in f_u .				

5.1.2.3 Material properties of cold-formed sections and sheeting

- (1) An average yield strength f_{ya} and average ultimate tensile strength f_{ua} may be used in place of f_y and f_u to account for the strength enhancement arising during the fabrication of cold-formed structural sections, except for material in the cold worked conditions CP350 and CP500 (see Table 5.2).
- (2) f_{ya} is given by:

$$f_{ya} = \frac{f_{yc} A_c + f_{yf}(A - A_c)}{A}$$

For press braked sections or cold rolled rectangular hollow sections

(5.1)

$$f_{ya} = f_{yCHS}$$

For cold rolled circular hollow sections

(5.2)

where

- A is the gross cross-sectional area of the section
- A_c is the total corner cross-sectional area of the section, given as:

$$A_c = \left(n_c \pi \frac{t}{4} \right) (2r + t) \quad \text{For press-braked sections} \quad (5.3)$$

$$A_c = \left(n_c \pi \frac{t}{4} \right) (2r + t) + 4n_c t^2 \quad \text{For cold rolled rectangular hollow sections} \quad (5.4)$$

in which

n_c is the number of 90° corners in the section;

r is the internal bend radius, which may be taken as $2t$ if not known;

f_{yc} is the enhanced yield strength of the corner region, obtained from:

$$f_{yc} = 0,85f_y \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{but} \quad f_y \leq f_{yc} \leq f_u \quad (5.5)$$

f_{yf} is the enhanced yield strength of the flat portions of cold rolled rectangular hollow sections, obtained according to Formula (5.6). For press-braked sections f_{yf} should be taken as f_y

$$f_{yf} = 0,85f_y \left(\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{but} \quad f_y \leq f_{yf} \leq f_u \quad (5.6)$$

f_y is the yield strength of the basic material (see 5.1.2.1(1));

f_{yCHS} is the enhanced yield strength of a cold rolled circular hollow section, obtained from:

$$f_{yCHS} = 0,85f_y \left(\frac{\varepsilon_{CHS}}{\varepsilon_{p0,2}} + 1 \right)^{n_p} \quad \text{but} \quad f_y \leq f_{yCHS} \leq f_u \quad (5.7)$$

in which

$$n_p = \frac{\ln(f_y/f_u)}{\ln(\varepsilon_{p0,2}/\varepsilon_u)} \quad (5.8)$$

$$\varepsilon_{p0,2} = 0,002 + \frac{f_y}{E} \quad (5.9)$$

E is modulus of elasticity, see 5.1.5;

f_u is the ultimate tensile strength of the basic material (see 5.1.2.1(1));

ε_c is the strain induced in the corner region during section forming, given by:

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2(2r + t)} \quad (5.10)$$

ε_f is the strain induced in the flat faces of rectangular hollow sections during section forming, given by Formula (5.11), where all dimensions shall be in millimetres:

$$\varepsilon_f = \left[\frac{t}{900} \right] + \left[\frac{\pi t}{2(b + h - 2t)} \right] \quad (5.11)$$

ε_{CHS} is the strain induced in a circular hollow section during section forming, given by:

$$\varepsilon_{CHS} = \frac{t}{2(d - t)} \quad (5.12)$$

ε_u is the ultimate strain, corresponding to the ultimate tensile strength f_u , which may be approximated as follows:

a) for austenitic and duplex stainless steels

$$\varepsilon_u = 1 - \frac{f_y}{f_u} \quad \text{but} \quad \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (5.13)$$

b) for ferritic stainless steels

$$\varepsilon_u = 0,6 \left[1 - \frac{f_y}{f_u} \right] \quad \text{but} \quad \varepsilon_u \leq \varepsilon_f \quad (5.14)$$

ε_f is the elongation after fracture as defined in the product standard

(3) f_{ua} is given by:

a) for austenitic and duplex stainless steels

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0,20 + 185 \frac{f_{ya}}{E}} \quad (5.15)$$

b) for ferritic stainless steels

$$f_{ua} = \frac{f_{ya}}{0,46 + 145 \frac{f_{ya}}{E}} \quad (5.16)$$

5.1.3 Fracture toughness

(1) Austenitic, ferritic and duplex stainless steels exhibit different fracture toughness characteristics.

NOTE Information on embrittlement due to contact with zinc in fire is given in A.5.

(2) The austenitic stainless steels covered in this document may be assumed to have sufficient fracture toughness to avoid brittle fracture of tension elements for service temperatures down to -50 °C.

If grades 1.4301, 1.4307, 1.4311, 1.4318 or 1.4306 are subject to extensive cold working, it should be demonstrated that the toughness of material greater than 10 mm thick is not less than the minimum KV-value specified in EN 10088-4 or EN 10088-5.

(3) If austenitic stainless steels are used at temperatures below -50 °C , tests should be carried out to demonstrate the material has a KV -value of at least 40 J at the lowest service temperature after the required fabrication steps.

(4) The ferritic stainless steels covered in this document may be assumed to have sufficient fracture toughness to avoid brittle fracture when the thickness of tension elements, t , is $\leq 5\text{ mm}$. Where $t > 5\text{ mm}$, proof of sufficient fracture toughness should be obtained by applying the fracture mechanics concepts of EN 1993-1-10.

(5) For the duplex stainless steels covered in this document, Table 5.3 and Table 5.4 give the maximum permissible element thickness appropriate to a steel strength, its toughness requirement in terms of KV -value, the applied stress level σ_{Ed} and the reference temperature T_{Ed} . Table 5.3 is for Execution Class 3 and 4, and Table 5.4 for Execution Class 1 and 2.

As EN 10088 does not specify CVN requirements at low temperatures, Tables 5.3 and 5.4 specify maximum permissible values of element thickness for four toughness requirements, TR1 to TR4. The designer shall specify the minimum toughness requirement appropriate for the application.

σ_{Ed} and T_{Ed} should be calculated according to EN 1993-1-10. The values in the tables are based on the assumptions in EN 1993-1-10.

$f_y(t) = f_y - 0,25 (t/t_0)$ with $t_0 = 1\text{ mm}$, or $f_y(t)$ may be taken as $R_{p0,2}$ from the product standard.

NOTE Tables 5.3 and 5.4 do not cover cold-formed sections and sheeting.

(6) If required, tests shall be carried out to demonstrate duplex stainless steels have a KV -value of at least 40 J at the test temperature for the selected quality in Table 5.3 or Table 5.4.

Table 5.3 — Maximum permissible values of element thickness *t* in mm for duplex stainless steel for Execution Class EXC3 and EXC4

Grade	f_y N/mm ² (hot rolled plate)	Toughness require- ment	KV		Reference Temperature T_{Ed} [°C]																							
			at T	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50			
			[°C]	[J]	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$								$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$							
1.4062, 1.4162, 1.4482	450	TR1	-20	40	70	60	45	40	30	25	20	120	100	85	70	55	45	40	185	160	140	120	105	90	75			
		TR2	-30	40	85	70	60	45	40	30	25	140	120	100	85	70	55	45	200	185	160	140	120	105	90			
1.4662	480	TR1	-20	40	65	55	45	35	30	20	15	110	95	80	65	55	45	35	180	155	135	115	100	85	70			
		TR2	-30	40	80	65	55	45	35	30	20	130	110	95	80	65	55	45	200	180	155	135	115	100	85			
1.4362	400	TR3	-40	40	110	95	80	65	50	40	35	175	150	130	110	90	75	65	200	200	195	170	150	130	110			
		TR4	-50	40	130	110	95	80	65	50	40	200	175	150	130	110	90	75	200	200	200	195	170	150	130			
1.4462	460	TR3	-40	40	100	85	70	55	45	35	30	160	135	115	95	80	70	55	200	200	185	160	140	120	100			
		TR4	-50	40	120	100	85	70	55	45	35	185	160	135	115	95	80	70	200	200	200	185	160	140	120			
1.4410, 1.4501, 1.4507	530	TR3	-40	40	90	75	60	50	40	30	25	145	125	105	85	70	60	50	200	195	170	150	125	110	95			
		TR4	-50	40	110	90	75	60	50	40	30	170	145	125	105	85	70	60	200	200	195	170	150	125	110			
NOTE 1 Linear interpolation can be used. Most applications require σ_{Ed} values between $0,75 f_y(t)$ and $0,50 f_y(t)$. $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$ is given for interpolation purposes, and for use for elements under compression stress.																												
NOTE 2 Maximum permissible values of element thickness t are restricted to 200 mm. The values for thickness in the tables can exceed the upper thickness limit in the relevant product standards.																												

Table 5.4 — Maximum permissible values of element thickness t in mm for duplex stainless steel for Execution Class EXC1 and EXC2

Grade	f_y N/mm ² (hot rolled plate)	Toughness require- ment	KV		Reference Temperature T_{Ed} [°C]																										
			at T	J_{min}	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	10	0	-10	-20	-30	-40	-50						
			[°C]	[J]	$\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$										$\sigma_{Ed} = 0,50 f_y(t)$										$\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$						
1.4062, 1.4162, 1.4482	450	TR1	-20	40	200	200	200	150	105	75	50	200	200	200	200	200	195	140	200	200	200	200	200	200	200						
		TR2	-30	40	200	200	200	200	150	105	75	200	200	200	200	200	200	195	200	200	200	200	200	200	200						
1.4662	480	TR1	-20	40	200	200	195	135	95	65	45	200	200	200	200	200	175	125	200	200	200	200	200	200	200						
		TR2	-30	40	200	200	200	195	135	95	65	200	200	200	200	200	200	175	200	200	200	200	200	200	200						
1.4362	400	TR3	-40	40	200	200	200	200	200	185	130	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	200	185	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
1.4462	460	TR3	-40	40	200	200	200	200	200	145	100	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	200	145	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
1.4410, 1.4501, 1.4507	530	TR3	-40	40	200	200	200	200	160	110	80	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						
		TR4	-50	40	200	200	200	200	200	160	110	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200						

NOTE 1

Linear interpolation can be used. Most applications require σ_{Ed} values between $0,75 f_y(t)$ and $0,50 f_y(t)$. $\sigma_{Ed} = 0,25 f_y(t)$ is given for interpolation purposes, and for use for elements under compression stress.

NOTE 2

Maximum permissible values of element thickness t are restricted to 200 mm. The values for thickness in the table can exceed the upper thickness limit in the relevant product standards.

5.1.4 Through-thickness properties

(1) It is not necessary to specify material with improved through-thickness properties for austenitic and duplex stainless steels because they do not exhibit lamellar tearing.

(2) If ferritic stainless steel plate thicker than 20 mm is used in welded tee, cruciform or corner joints, guidance on the choice of through-thickness properties in EN 1993-1-10 should be followed. However, the low sulphur content of these stainless steels means that lamellar tearing is unlikely to occur.

5.1.5 Values of other material properties

(1) The material properties to be adopted in calculations should be taken as the following mean values for stainless steels:

Modulus of elasticity

$$E = 200\,000 \text{ N/mm}^2$$

Shear modulus

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \approx 77\,000 \text{ N/mm}^2$$

Poisson's ratio in elastic range

$$\nu = 0,3$$

Coefficient of linear thermal expansion $\alpha_T = 16 \times 10^{-6}$ per K for austenitic stainless steels
(for $T \leq 100^\circ\text{C}$) $\alpha_T = 13 \times 10^{-6}$ per K for duplex stainless steels
 $\alpha_T = 10 \times 10^{-6}$ per K for ferritic stainless steels

(2) Stress-strain curves according to prEN 1993-1-14:2022 may be used to describe the material behaviour.

(3) The material parameter ε is defined as follows:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$
 (5.18)

(4) For calculating deflections in individual members, the secant modulus appropriate to the stress in the member at the serviceability limit state may be used, see 9.2(5).

5.2 Connecting devices

5.2.1 Fasteners

(1) Stainless steel bolts and nuts should conform with EN ISO 3506-1 and EN ISO 3506-2. Washers should be of stainless steel and should conform with EN ISO 7089 or EN ISO 7090, as appropriate. The corrosion resistance of the bolts should be equivalent to, or better than, the corrosion resistance of the parent metal.

(2) The nominal yield strength f_{yb} and ultimate tensile strength f_{ub} of stainless steel bolts should be obtained from Table 5.5.

Table 5.5 — Nominal values of f_{yb} and f_{ub} for stainless steel bolts

Material groups	Property class to EN ISO 3506	Yield strength f_{yb} N/mm ²	Ultimate tensile strength f_{ub} N/mm ²
Austenitic	50	210	500
Austenitic and duplex	70	450	700
Austenitic and duplex	80	600	800
Austenitic and duplex	100	800	1000

5.2.2 Preloaded bolts

(1) Bolting assemblies of property classes 80 and 100 made of austenitic and duplex stainless steel may be used as preloaded bolting assemblies in slip-resistant connections. Their suitability for preloading shall be demonstrated, and the tightening parameters shall be derived by bolting qualification procedure testing. The bolting procedure qualification testing shall specify the structural bolting assembly, tightening method, tightening parameters, preload losses and inspection requirements.

NOTE The National Annex can specify the bolting procedure qualification testing. CEN/TS XXXX, *Bolt tightening qualification procedure for stainless steel preloaded bolts* is under preparation.

5.2.3 Welding consumables

(1) General requirements for welding consumables are given in EN 1993-1-8.

(2) In addition to the requirements of EN 1993-1-8, the welding electrodes should be capable of producing a weld with a corrosion resistance that is adequate for the service environment.

(3) If the corrosion resistance of the deposited metal and weld metal are not less than that of the material to be welded, the corrosion resistance of the welding electrodes may be assumed to be adequate.

6 Durability

(1) The procedure for selecting an appropriate stainless steel grade for the service environment shall be in accordance with Annex A.

7 Structural analysis

7.1 Structural modelling for analysis

(1) The provisions given in EN 1993-1-1:2022, Clause 7 should be applied to stainless steels, except where modified or superseded by the special provisions given in this document.

7.2 Global analysis

7.2.1 Consideration of second order effects

(1) Second order analysis is not required if the conditions (7.1) and (7.2) of EN 1993-1-1:2022 are satisfied.

NOTE The value of k_0 in Formula (7.1) of EN 1993-1-1:2022 is $1/\bar{\lambda}_0^2$ where $\bar{\lambda}_0$ is the limiting relative slenderness according to Table 8.3, unless the National Annex gives a different value.

7.3 Imperfections

7.3.1 Equivalent bow imperfection for global and member design

(1) For second order elastic analysis and second order plastic hinge analysis, the equivalent bow imperfection, e_0 , of members for flexural buckling may be determined from EN 1993-1-1:2022, 7.3.3.1.

(2) For second order plastic zone analysis using either a bi-linear material model (see 7.4.3.3) or the non-linear material model (see 7.4.3.4) provided for stainless steel in prEN 1993-1-14:2022, 5.3.3, the equivalent bow imperfection, e_0 , of members for flexural buckling may be determined according to Formula (7.1):

$$e_0 = \frac{\alpha L}{150} \quad (7.1)$$

where

L is the member length;

α is the imperfection factor, depending on the relevant buckling curve according to Table 8.3.

7.3.2 Imperfection based on elastic critical buckling modes

(1) For second order elastic analysis and second order plastic hinge analysis (see 7.4.3.2), the shape of the elastic critical buckling mode η_{cr} of the structure may be applied as a unique global and local imperfection, in accordance with 7.3.6 of EN 1993-1-1:2022. The amplitude of this imperfection should be determined from Formula (7.2):

$$e_{0,m} = \alpha_{\eta,m} (\bar{\lambda}_m - \bar{\lambda}_0) \frac{M_{Rk,m}}{N_{Rk,m}} \quad (7.2)$$

where

m	is an index that denotes the critical cross-section of the frame structure or of the verified member. Index m indicates that the value or property belongs to the critical cross-section;
$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{N_{Rk,m}}{N_{cr,m}}}$	is the relative slenderness of the member determined at the critical cross-section m ;
$N_{cr,m} = \alpha_{cr} N_{Ed,m}$	is the value of critical axial force in the cross-section m and also the critical axial force for the equivalent member;
α_{cr}	is the minimum force amplifier for the axial force configuration N_{Ed} in members to reach the elastic critical buckling load of the structure;
$\alpha_{\eta,m}$	is the imperfection factor α for the relevant buckling curve at the critical cross-section m , see Table 8.3;
$\bar{\lambda}_0$	is the limiting relative slenderness, see Table 8.3;
$M_{Rk,m}$	is the characteristic value of the moment resistance of the critical cross-section m , e.g. $M_{el,Rk,m}$ or $M_{pl,Rk,m}$ as relevant;
$N_{Rk,m}$	is the characteristic value of resistance to axial force of the critical cross-section m .

7.4 Methods of analysis considering material non-linearities

7.4.1 General

(1) The internal forces and moments may be determined using either

- Elastic global analysis (see 7.4.2); or
- Plastic (hinge or zone) global analysis (see 7.4.3.1).

7.4.2 Elastic global analysis

(1) Elastic global analysis may be used for all structures where the response of all members contributing to the global stability remains predominantly elastic under all load cases (see 7.4.2(3)) and structures where loss of stiffness due to material non-linearity has a negligible effect on the internal forces.

(2) Material non-linearity reduces the stiffness of the structure. The effect of this reduction in stiffness should be considered by performing a plastic zone analysis (see 7.4.3.3 or 7.4.3.4) if it increases the action effects significantly or modifies the structural behaviour significantly.

(3) Members are deemed to remain predominantly elastic if condition (7.3) is satisfied.

$$\frac{E_s}{E} > 0,2 \quad (7.3)$$

where E_s is the secant modulus corresponding to the stress σ , given by (7.4):

$$E_s = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{f_y} \right)^n} \quad (7.4)$$

E is the modulus of elasticity;

- σ is the maximum stress obtained from a first order elastic analysis in the cross-section of any member contributing to the global stability of the structure at the design load level;
- f_y is the yield stress;
- n is the strain hardening exponent, see Table 9.1.

7.4.3 Plastic global analysis

7.4.3.1 General

(1) Plastic global analysis allows for the effects of material non-linearity in calculating the action effects of a structural system. The behaviour should be modelled by one of the following three methods:

- a) Plastic hinge method (see 7.4.3.2): the non-linear material behaviour is concentrated in plastified sections and/or joints as plastic hinges;
- b) Plastic zone method with a bi-linear material model (see 7.4.3.3): the partial plastification of members in plastic zones is explicitly considered using an elastic, perfectly plastic material model (see EN 1993-1-1:2022, Figure 7.9); strain hardening is also allowed for by using an elastic linear hardening material model (see B.4 and Figure B.1);
- c) Plastic zone method with the two-stage Ramberg-Osgood material model (see 7.4.3.4): the partial plastification, gradual loss of stiffness and strain hardening of members in plastic zones is explicitly considered using the material model given in prEN 1993-1-14:2022, 5.3.3.

(2) For plastic analysis (hinge or zone), first order theory may be used for the determination of the in-plane (sway) bending moments in accordance with EN 1993-1-1:2022, 7.2.1(5) when the criterion (7.5) is satisfied:

$$\alpha_{cr,sw,mod} \geq 10 \quad (7.5)$$

where

$\alpha_{cr,sw,mod}$ is the modified factor, determined using Formula (7.6), by which the design load would have to be increased to cause elastic instability in a global (sway) mode to account for the influence of plasticity on the sway stiffness of frame;

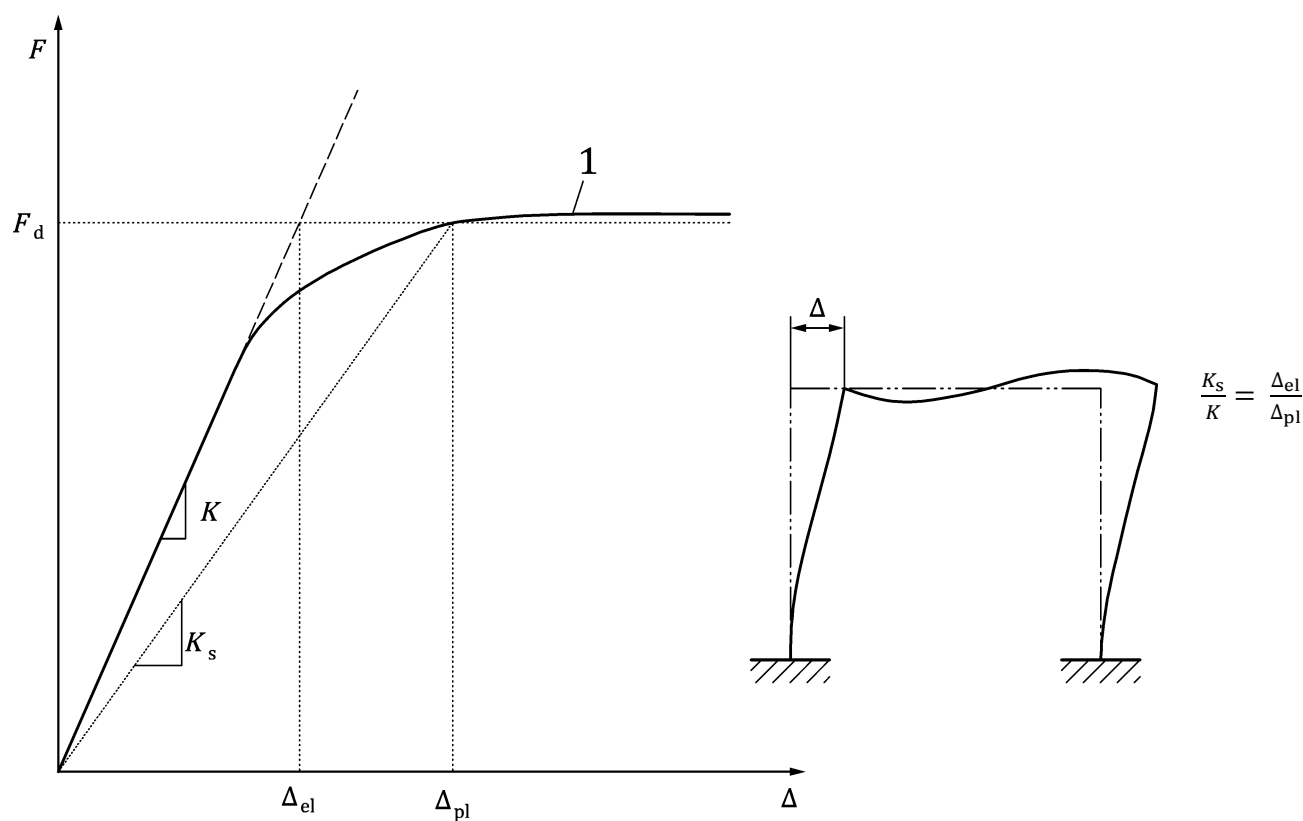
$$\alpha_{cr,sw,mod} = \frac{K_s}{K} Y \alpha_{cr,sw} \quad (7.6)$$

K_s/K is the ratio of the secant lateral stiffness at the design value of the loading on the structure, F_d , to the initial lateral stiffness of the structure due to the influence of plasticity (i.e. as obtained from a first order plastic (hinge or zone) analysis, as illustrated in Figure 7.1); K_s/K may be alternatively expressed in terms of displacements as Δ_{el}/Δ_{pl} , as shown in Figure 7.1.

Y is the factor that approximates the further loss of stiffness due to second order effects, taken from Table 7.1.

$\alpha_{cr,sw}$ may be calculated according to Formula (7.2) of EN 1993-1-1:2022.

For multi-storey frames, K_s/K should be calculated based on the critical storey.



Key

- F load
- Δ lateral displacement
- 1 Response obtained from a material nonlinear analysis

Figure 7.1 — Determination of ratio K_s/K

Table 7.1 — Y factor

Stainless steel	For single storey portal frames	For all other frames
Austenitic	0,80	0,55
Duplex	0,85	0,60
Ferritic	0,90	0,65

7.4.3.2 Plastic hinge method

- (1) The requirements for plastic hinges set out in 7.4.3.1 of this document and EN 1993-1-1:2022, 7.6 should be followed.
- (2) The effects of deformed geometry of the structure and the structural stability of the frame should be verified according to 7.4.3.1(2).
- (3) The plastic hinge method may be used for austenitic and duplex stainless steels only.

7.4.3.3 Plastic zone method with a bi-linear material model

- (1) The bi-linear elastic, perfectly-plastic stress-strain relationship indicated in EN 1993-1-1:2022, Figure 7.9 or the bi-linear elastic, linear hardening stress-strain relationship indicated in Figure B.1 may be used.
- (2) The effects of deformed geometry of the structure and the structural stability of the frame should be verified according to 7.4.3.1(2).
- (3) The verification of cross-section resistance may be performed either through cross-section resistance checks (see 8.2 or Annex B) or, more accurately, through the application of strain limits, see 7.4.3.5.
- (4) Provided the continuous strength method (CSM) strain limits set out in 7.4.3.5 are satisfied, plastic zone analysis using a bi-linear material model may be applied to structures composed of all classes of cross-section. Cross-section classification is not required.
- (5) In the application of methods M4 and M5 (see EN 1993-1-1:2022, 7.2.2) with plastic zone analysis using a bi-linear material model, the equivalent bow imperfections given in 7.3.1 should be used and the modulus of elasticity should be taken as the characteristic (fifth percentile) value equal to $E = 191\,000\text{ N/mm}^2$.

7.4.3.4 Plastic zone method with the two stage Ramberg-Osgood material model

- (1) The nonlinear material stress-strain response described by the two stage Ramberg-Osgood material model given in prEN 1993-1-14:2022 should be used.
- (2) Provided the strain limits set out in 7.4.3.5 are satisfied, plastic zone analysis using the two stage Ramberg-Osgood material model may be applied to structures composed of all classes of cross-section. Cross-section classification is not required.
- (3) In the application of methods M4 and M5 (see EN 1993-1-1:2022, 7.2.2) with plastic zone analysis using the two stage Ramberg-Osgood material model, the equivalent bow imperfections given in 7.3.1 should be used and the modulus of elasticity should be taken as the characteristic (fifth percentile) value equal to $E = 191\,000\text{ N/mm}^2$.

7.4.3.5 Strain limits for plastic zone analysis

- (1) Strain limits determined using the CSM, as given by Formulae (7.9) and (7.10), may be used for greater accuracy in place of cross-section checks for doubly-symmetric I-sections and rectangular hollow sections in plastic zone analysis. The strain limits simulate local buckling and control the extent to which spread of plasticity, moment redistribution and strain hardening are exploited.
- (2) The overall structure or structural member shall satisfy criterion (7.7):

$$\frac{F_d}{F_{Rd}} \leq 1 \quad (7.7)$$

where

$$F_{Rd} = F_{Rk}/\gamma_{M1}$$

F_{Rk} is the characteristic value of the resistance of the structure, taken at the peak load factor attained during the plastic zone analysis or the point at which the CSM strain limit (see 7.4.3.5(3)) is reached, whichever is the lesser.

- (3) The maximum longitudinal compressive strain at the design load level ε_{Ed} at each cross-section shall satisfy criterion (7.8):

$$\frac{\varepsilon_{Ed}}{\varepsilon_{csm}} \leq 1,0 \quad (7.8)$$

where

ε_{csm} is the CSM strain limit given by Formula (7.9) when a bi-linear material model is used (see 7.4.3.3) and Formula (7.10) when the rounded two-stage Ramberg-Osgood material model is used (see 7.4.3.4)

$$\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0,25}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{3,6}} \leq \min\left(\Omega, \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y}\right) & \text{for } \bar{\lambda}_{\text{p,cs}} \leq 0,68 \\ \left(1 - \frac{0,222}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{1,050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{1,050}} & \text{for } 0,68 < \bar{\lambda}_{\text{p,cs}} \leq 1,00 \end{cases} \quad (7.9)$$

$$\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{0,25}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{3,6}} + \frac{0,002}{\varepsilon_y} \leq \Omega & \text{for } \bar{\lambda}_{\text{p,cs}} \leq 0,68 \\ \left(1 - \frac{0,222}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{1,050}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{\text{p,cs}}^{1,050}} + \frac{0,002(\sigma/f_y)^n}{\varepsilon_y} & \text{for } 0,68 < \bar{\lambda}_{\text{p,cs}} < 1,00 \end{cases} \quad (7.10)$$

where

$\varepsilon_y = f_y/E$ is the elastic strain at the yield strength;

$\bar{\lambda}_{\text{p,cs}} = \frac{\sigma_{\text{cr,cs}}}{\sqrt{f_y}}$ is the cross-section slenderness;

$\sigma_{\text{cr,cs}}$ is the elastic local buckling stress of the full cross-section, which may be determined numerically or according to [11];

σ is the maximum compressive stress;

C_1 is a material coefficient given in Table B.1;

Ω is a project specific parameter that defines the maximum permissible level of plastic strain in the structure;

n is the strain hardening exponent, see Table 9.1.

NOTE The value of Ω is 15 unless the National Annex gives a different value.

(4) ε_{Ed} may be taken as the average value of the maximum strain over a length of member equal to the elastic local buckling half-wavelength $L_{\text{b,cs}}$. $L_{\text{b,cs}}$ may be determined numerically or according to [12]. A maximum element length equal to $L_{\text{b,cs}}$ should be used. The strains should be averaged over the number of elements that lie wholly within $L_{\text{b,cs}}$.

(5) The interaction between bending and shear should be accounted for by satisfying criterion (7.11):

$$\frac{\varepsilon_{\text{Ed}}}{\rho_{\text{csm}} \varepsilon_{\text{csm}}} \leq 1 \quad (7.11)$$

where

$$\rho_{\text{csm}} = \begin{cases} 1 & \text{for } V_{\text{Ed}} \leq 0,5V_{\text{pl,Rd}} \\ \frac{0,5}{0,5+\rho} & \text{for } V_{\text{Ed}} > 0,5V_{\text{pl,Rd}} \end{cases} \quad (7.12)$$

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (7.13)$$

V_{Ed} is the design shear force;

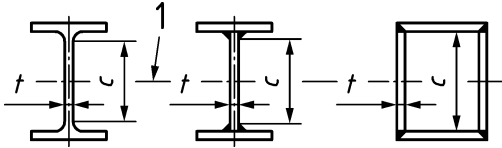
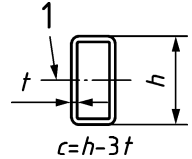
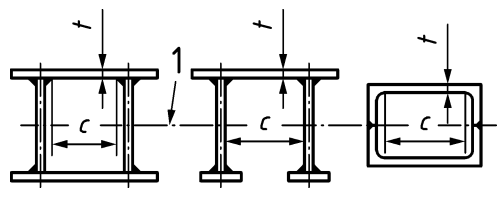
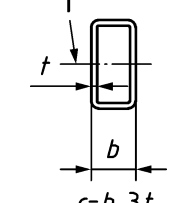
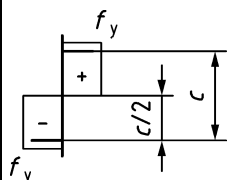
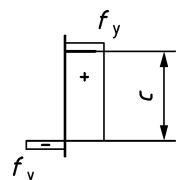
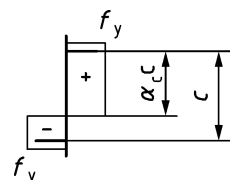
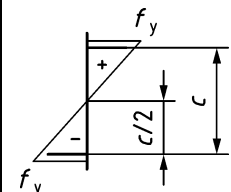
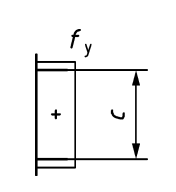
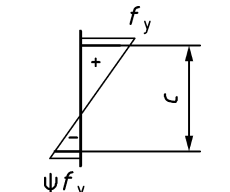
$V_{pl,Rd}$ is the plastic shear resistance of the cross-section.

7.5 Classification of cross-sections

(1) The maximum width-to-thickness ratios for Class 1, 2, and 3 compression parts should be obtained from Table 7.2 to Table 7.4. They depend on the material parameter ε defined in 5.1.5(3). A part that fails to satisfy the limits for Class 3 should be taken as Class 4.

(2) For cold-formed sections and sheeting, if the resistance of the cross-section is to be determined based on the average yield strength f_{ya} , the classification of the cross-section shall also be based on the average yield strength by replacing f_y with f_{ya} in the definition of material parameter ε and parameter α_c .

Table 7.2 — Maximum width-to-thickness ratios for internal compression parts

Internal compression parts				
				
				
Key 1 Axis of bending				
		Part subject to bending	Part subject to compression	Part subject to bending and axial force
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 1	All	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	when $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha_c - 1}$ when $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha_c}$
Class 2	All	$c/t \leq 76\varepsilon$	$c/t \leq 35\varepsilon$	when $\alpha_c > 0,5$: $c/t \leq \frac{420\varepsilon}{13\alpha_c - 1}$ when $\alpha_c \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{38\varepsilon}{\alpha_c}$
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 3	welded	$c/t \leq 87\varepsilon$	$c/t \leq 35,4\varepsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{35,4\varepsilon}{0,71 + 0,296\psi + 0,006\psi^2}$ when $\psi \leq -1$ ^a : $c/t \leq 43,5\varepsilon(1 - \psi)$
	other	$c/t \leq 99\varepsilon$	$c/t \leq 37\varepsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{37\varepsilon}{0,678 + 0,318\psi + 0,012\psi^2}$ when $\psi \leq -1$ ^a : $c/t \leq 49\varepsilon(1 - \psi)$

For rectangular hollow sections and channels, I or H sections with equal flanges, under axial force and bending moment about the main axis parallel to the flanges, the parameter α_c that defines the position of the plastic neutral axis may be calculated as follows:

If $N_{Ed} \geq c t_w n f_y$ $\alpha_c = 1,0$ If $N_{Ed} \leq -c n t_w f_y$ $\alpha_c = 0$

In all other cases:

$$\alpha_c = 0,5 \left(1 + \frac{N_{Ed}}{c n t_w f_y} \right)$$

Where N_{Ed} is the design axial force taken as positive for compression and negative for tension, and $n = 1$ for channels, I or H sections and $n = 2$ for rectangular hollow sections.

a $\psi \leq -1$ and a compression stress of $\sigma_{com,Ed} = f_y$ applies where the tensile strain $\varepsilon_t > f_y/E$.

Table 7.3 — Maximum width-to-thickness ratios for compression parts of outstand flanges

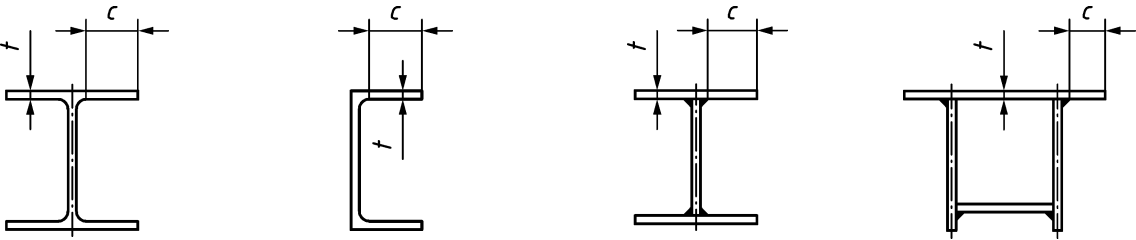
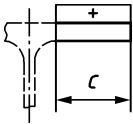
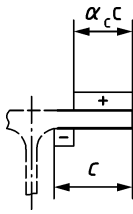
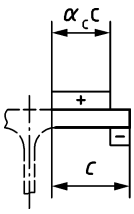
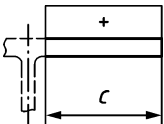
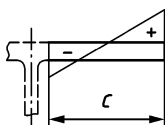
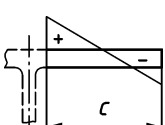
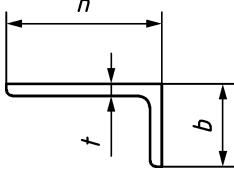
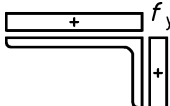
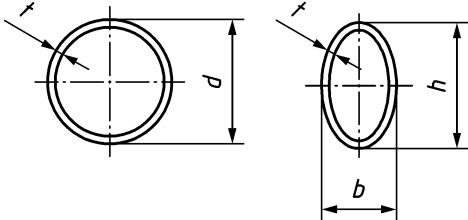
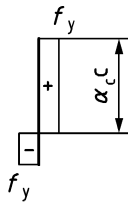
Outstand flanges				
				
		Rolled sections	Welded sections	
		Part in pure compression	Part subject to bending and axial force	
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 1	All	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Class 2	All	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha_c \sqrt{\alpha_c}}$
Stress distribution in parts (compression positive)	section type			
Class 3	welded	$c/t \leq 11,5\varepsilon$	$c/t \leq 17\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$	
	other	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21,0\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$ For k_σ see EN 1993-1-5	

Table 7.4 — Maximum width-to-thickness ratios for compression parts of angles and circular and elliptical hollow sections

Refer also to “Outstand flanges” (Table 7.3)		Angles 		Does not apply to angles in continuous contact with other components
Stress distribution across section (compression positive)				
Class 3		$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ and $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$		
Circular and elliptical hollow sections   				
	Section in compression	Section in bending	Section under bending and axial force	
Class 1	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 50\varepsilon^2$	
Class 2	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	$d_e/t \leq 70\varepsilon^2$	
Class 3	$d_e/t \leq 90\varepsilon^2$ NOTE For $d_e/t > 90\varepsilon^2$, see 8.2.2(6).	$d_e/t \leq 280\varepsilon^2$ NOTE For $d_e/t > 280\varepsilon^2$, see EN 1993-1-6.	$d_e/t \leq \frac{5040\varepsilon^2}{19\psi + 37}$	
Equivalent diameter d_e for circular and elliptical hollow sections				
For circular hollow sections:		$d_e = d$		
For elliptical hollow sections:				
In compression:				
$d_e = d_{e,c} = h \left[1 + \left(1 - 2,3 \left(\frac{t}{h} \right)^{0,6} \right) \left(\frac{h}{b} - 1 \right) \right]$ or, conservatively: $d_e = d_{e,c} = \frac{h^2}{b}$				
In bending about the strong axis:				
For $h/b \leq 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = \frac{b^2}{h}$ For $h/b > 1,36$: $d_e = d_{e,b,y} = 0,4 \frac{h^2}{b}$				
In bending about the weak axis, or compression and bending about the weak axis:				
$d_e = d_{e,b,z} = \frac{h^2}{b}$				

In compression and bending about the strong axis, d_e may be determined by linear interpolation between $d_{e,c}$ and $d_{e,b,y}$ as given by:

$$d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})(2\alpha_c - 1) \quad \text{for Class 1 and 2 cross-sections}$$

$$d_e = d_{e,b,y} + (d_{e,c} - d_{e,b,y})(\psi + 1)/2 \quad \text{for Class 3 and 4 cross-sections}$$

In compression and biaxial bending, d_e may be taken as described above, but with α_c and ψ determined using a modified axial force equal to $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{pl,z}$ for Class 1 and Class 2 cross-sections and $N_{Ed} + M_{z,Ed} A/W_{el,z}$ for Class 3 and Class 4 cross-sections.

8 Ultimate limit states

8.1 Partial factors

(1) The following partial factors γ_{Mi} as defined in EN 1993-1-1:2022, 8.1(1) and EN 1993-1-8:2022, 4.3.2(1) should be applied to the characteristic values of the following resistances:

resistance of cross-sections (whatever the class is): γ_{M0}

resistance of members to instability assessed by member checks: γ_{M1}

resistance of cross-sections in tension to fracture: γ_{M2}

resistance of bolts, pins, welds and plates in bearing: γ_{M2}

— slip resistance:

at ultimate limit state (Category C in accordance with EN 1993-1-8) γ_{M3}

at serviceability limit state (Category B in accordance with EN 1993-1-8) $\gamma_{M3,ser}$

NOTE The partial factors γ_{M0} , γ_{M1} , γ_{M2} , γ_{M3} and $\gamma_{M3,ser}$ for stainless steel structural elements designed in accordance with any of the parts of EN 1993 are given below unless the National Annex of prEN 1993-1-4 gives different values:

$$\gamma_{M0} = 1,10$$

$$\gamma_{M1} = 1,10$$

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

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

$$\gamma_{M3,ser} = 1,10$$

8.2 Resistance of cross-sections

8.2.1 General

(1) The provisions for the resistance of cross-sections given in EN 1993-1-1, EN 1993-1-3 and EN 1993-1-5, as appropriate, should be applied to stainless steels except as supplemented or modified in 8.2.2, 8.2.3, 8.2.4, 8.2.5, 8.2.6 or 8.2.7.

(2) Alternatively, the CSM provisions given in Annex B may be used to account for partial plastification and strain hardening in the determination of the cross-section resistance of I-sections, channels, T-sections, angles and rectangular and circular hollow sections subject to tension, compression, bending moment, and combined bending and axial force.

(3) The provisions in EN 1993-1-1:2022, Annex B for the design of semi-compact sections shall not be applied to stainless steel.

8.2.2 Effective cross-section properties

(1) The reduction in resistance due to the effects of local buckling in Class 4 cross-sections and distortional buckling in cross-sections with longitudinal stiffeners may be taken into account by using effective cross-section properties.

(2) The effective properties of Class 4 cross-sections should be based on the effective widths of the compression parts.

(3) For cold-formed sections (other than structural hollow sections) and sheeting, the effective cross-section properties should be determined following the procedure specified in prEN 1993-1-3:2022, 7.6. The effective widths should be determined according to (5) of this document. When calculating effective widths of the compressed elements or the reduced thicknesses of the stiffeners, the yield strength may be replaced by the average yield strength f_{ya} determined in accordance with 5.1.2.3.

(4) For structural hollow sections, the effective widths should be determined according to (5) and the yield strength may be replaced by the average yield strength f_{ya} determined in accordance with 5.1.2.3.

(5) The effective widths of planar compression parts should be determined according to EN 1993-1-5, except that the reduction factor ρ should be taken as follows:

For welded sections:

Internal compression elements

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p \leq 0,328 + \sqrt{0,100 - 0,003\psi} \\ \rho &= \frac{0,655 \bar{\lambda}_p - 0,003(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p > 0,328 + \sqrt{0,100 - 0,003\psi} \end{aligned} \quad (8.1)$$

Outstand compression elements

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p \leq 0,639 \\ \rho &= \frac{0,655 \bar{\lambda}_p - 0,01}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p > 0,639 \end{aligned} \quad (8.2)$$

For other sections:

Internal compression elements

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p \leq 0,386 + \sqrt{0,089 - 0,02\psi} \\ \rho &= \frac{0,772 \bar{\lambda}_p - 0,02(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p > 0,386 + \sqrt{0,089 - 0,02\psi} \end{aligned} \quad (8.3)$$

Outstand compression elements

$$\begin{aligned} \rho &= 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p \leq 0,748 \\ \rho &= \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 & \text{for } \bar{\lambda}_p > 0,748 \end{aligned} \quad (8.4)$$

where $\bar{\lambda}_p$ is the element slenderness defined as:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,p}}} = \frac{\bar{b}/t}{27,7\epsilon\sqrt{k_\sigma}} \quad (8.5)$$

ψ is the stress ratio determined in accordance with prEN 1993-1-5:2022, 6.4.1(3) and 6.4.1(4)

$\bar{b}$ is the appropriate width to be taken as follows (for definitions, see Table 7.2 to Table 7.4)

c for internal or outstand flat elements (except angles);

c for webs and flanges of rolled rectangular hollow sections, which can conservatively be taken as $h-3t$ or $b-3t$, as appropriate;

h for equal-leg and unequal-leg angles;

k_σ is the buckling factor corresponding to the stress ratio ψ and boundary conditions from prEN 1993-1-5:2022, Table 6.1 or Table 6.2, as appropriate

t is the thickness of the plate

$\sigma_{cr,p}$ is the elastic critical plate buckling stress;

ϵ is the material factor defined in 5.1.5(3).

(6) For Class 4 circular or elliptical hollow sections in compression conforming to EN 10296-2 or EN 10297-2, the effective cross-sectional area A_{eff} should be determined using the equivalent diameter d_e and the thickness t as:

$$A_{eff} = A \sqrt{\frac{90\epsilon^2}{d_e/t}} \quad \text{for } d_e/t \leq 250\epsilon^2 \quad (8.6)$$

NOTE For Class 4 circular or elliptical hollow sections in compression exceeding the limits of d_e/t specified in (6), see EN 1993-1-6.

8.2.3 Compression

(1) The design resistance of the cross-section for uniform compression $N_{c,Rd}$ should be taken as:

$$N_{c,Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}} \quad (8.7)$$

where

$$N_{Rk} = A f_y \quad \text{For Class 1, 2 or 3 cross-sections}$$

$$N_{Rk} = A_{eff} f_y \quad \text{For Class 4 cross-sections}$$

(2) For cold-formed sections (including structural hollow sections) and sheeting, f_y in 8.2.3(1) may be replaced by f_{ya} .

8.2.4 Bending

(1) The design bending moment resistance of the cross-section for bending about one principal axis $M_{c,Rd}$ should be taken, as:

$$M_{c,Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M0}} \quad (8.8)$$

where

$$M_{Rk} = W_{pl} f_y \quad \text{For Class 1 or 2 cross-sections}$$

$$M_{Rk} = W_{el} f_y \quad \text{For Class 3 cross-sections}$$

$$M_{Rk} = W_{eff} f_y \quad \text{For Class 4 cross-sections}$$

(2) For cold-formed sections (including structural hollow sections) and sheeting, f_y in 8.2.4(1) may be replaced by f_{ya} . In addition, provided that the bending moment is applied about only one principal axis of the cross-section, and provided that yielding occurs first at the tension edge, the plastic reserve capacity in the tension zone may be utilised according to prEN 1993-1-3:2022, 8.1.4.2 until the maximum compressive stress $\sigma_{com,Ed}$ reaches f_{ya}/γ_{M0} .

8.2.5 Shear

(1) The design shear resistance $V_{c,Rd}$ of welded or hot rolled sections should be taken as the lesser of the shear buckling resistance $V_{b,Rd}$ according to EN 1993-1-5 modified by (3) and (4), and the elastic or plastic shear resistance according to EN 1993-1-1. For cold-formed sections, see prEN 1993-1-3:2022.

(2) Unstiffened webs with h_w/t greater than $\frac{56,2}{\eta} \varepsilon$, or stiffened webs with h_w/t greater $\frac{24,3}{\eta} \varepsilon \sqrt{k_\tau}$, should be checked for resistance to shear buckling and should be provided with transverse stiffeners at the supports.

where

h_w is the clear web depth between flanges, see prEN 1993-1-5:2022, Figure 7.1

ε is defined in 5.1.5(3)

k_τ is defined in prEN 1993-1-5:2022, 7.3

$\eta = 1,20$

(3) For webs with transverse stiffeners at supports only and for webs with either intermediate transverse or longitudinal stiffeners or both, the factor χ_w for the contribution of the web to the shear buckling resistance should be obtained from Table 8.1. The factor χ_w according to Table 8.1 is only valid for slendernesses $\bar{\lambda}_w$ which are determined for plates with hinged boundary conditions.

Table 8.1 — Web shear buckling reduction factor χ_w

	End panels with non-rigid end post	All the other cases (intermediate panels and end panels with rigid end post)
$\bar{\lambda}_w \leq 0,65/\eta$	η	η
$0,65/\eta < \bar{\lambda}_w < 0,65$	$0,65/\bar{\lambda}_w$	$0,65/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 0,65$	$1,19/(0,54 + \bar{\lambda}_w)$	$1,56/(0,91 + \bar{\lambda}_w)$

End support conditions and $\bar{\lambda}_w$ are defined in EN 1993-1-5.

(4) If the flange resistance is not fully utilised in withstanding the bending moment, i.e. $M_{Ed} < M_{f,Rd}$, then the contribution from the flanges $V_{bf,Rd}$ may be calculated according to prEN 1993-1-5:2022, 7.4(1) but with c taken as:

$$c = \left[0,17 + \frac{3,5 b_f t_f^2 f_{yf}}{t_w h_w^2 f_{yw}} \right] a \quad \text{and} \quad \frac{c}{a} \leq 0,65 \quad (8.9)$$

where

b_f , t_f and a are defined in EN 1993-1-5

f_{yf} is the yield strength of the flange;

f_{yw} is the yield strength of the web.

8.2.6 Resistance to transverse forces

(1) The design resistance of the webs of rolled beams and welded girders without web stiffeners should be determined in accordance with prEN 1993-1-5:2022, 8.2 modified by (2), provided that the compression flange is adequately restrained in the lateral direction.

(2) Values for α_{F0} and $\bar{\lambda}_{F0}$ should be obtained from Table 8.2.

Table 8.2 — Values of α_{F0} and $\bar{\lambda}_{F0}$

Load type (see prEN 1993-1-5:2022, 8.1(2))	Austenitic and Duplex Stainless Steel		Ferritic Stainless Steel	
	α_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$	α_{F0}	$\bar{\lambda}_{F0}$
Type (a)	0,60	0,60	0,30	0,65
Type (b)				
Type (c)	0,75	0,50	0,75	0,50

8.2.7 Transverse web stiffeners

(1) The provisions in prEN 1993-1-5:2022, Clause 11 apply, except as modified by (2).

(2) When checking the buckling resistance, the effective cross-sectional area of a stiffener should include the stiffener itself plus a width of web of $11.5 \varepsilon t_w$ on each side of the stiffener, avoiding any overlap of contributing parts to adjacent stiffeners. At the ends of the member, the contributory width to be taken into account should be either $11.5 \varepsilon t_w$ or the nominal available width, whichever is the smaller.

8.3 Buckling resistance of members

8.3.1 General

(1) The provisions for flexural, lateral-torsional, torsional and torsional-flexural buckling given in EN 1993-1-1 and EN 1993-1-3, as appropriate, should be applied for stainless steels except as supplemented or modified in 8.3.2, 8.3.3 or 8.3.4.

(2) The provisions in EN 1993-1-1:2022, Annex B for the design of semi-compact sections shall not be applied to stainless steel.

8.3.2 Uniform members in compression

8.3.2.1 Buckling reduction factor for flexural buckling

(1) For flexural buckling of members in axial compression, the value of the buckling reduction factor χ for the appropriate relative slenderness $\bar{\lambda}$ should be determined from the relevant buckling curve according to Formula (8.10):

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{but } \chi \leq 1,0 \quad (8.10)$$

where

$$\Phi = 0,5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2) \quad (8.11)$$

α is an imperfection factor, obtained from Table 8.3

$\bar{\lambda}_0$ is the limiting relative slenderness, obtained from Table 8.3

(2) The relative slenderness $\bar{\lambda}$ should be taken from Formula (8.12):

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rk}}{N_{cr}}} \quad (8.12)$$

where

N_{cr} is the elastic critical force for the relevant buckling mode based on the gross cross-section properties:

$N_{cr} = N_{cr,y}$ for elastic flexural buckling about the major axis, leading to $\bar{\lambda}_y$;

$N_{cr} = N_{cr,z}$ for elastic flexural buckling about the minor axis, leading to $\bar{\lambda}_z$;

$N_{cr} = N_{cr,T}$ for torsional buckling, leading to $\bar{\lambda}_T$;

$N_{cr} = N_{cr,TF}$ for elastic torsional-flexural buckling about y-y, leading to $\bar{\lambda}_{TF}$;

N_{Rk} is the characteristic value of the resistance to compression.

(3) Buckling effects may be ignored and only cross sectional checks apply when the relative slenderness $\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0$.

Table 8.3 — Values of α and $\bar{\lambda}_0$ for flexural buckling

Type of member	Axis of buckling	Austenitic		Duplex		Ferritic	
		α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$	α	$\bar{\lambda}_0$
Hot rolled and welded I-sections	Major	0,60	0,2	0,49	0,3	0,49	0,2
	Minor	0,76	0,2	0,60	0,3	0,76	0,2
Cold-formed rectangular hollow sections	Any	0,49	0,3	0,49	0,3	0,49	0,2
Cold-formed circular and elliptical hollow sections	Any	0,49	0,2	0,49	0,3	0,49	0,2
Hot finished rectangular hollow sections	Any	0,49	0,2	0,49	0,2	0,34	0,2
Hot finished circular and elliptical hollow sections	Any	0,49	0,2	0,49	0,2	0,34	0,2
Welded (including laser welded) box sections	Any	0,49	0,2	0,49	0,2	0,49	0,2
Cold-formed lipped channels and hat sections	Any	0,49	0,2	0,49	0,2	0,49	0,2
Other open sections	Any	0,76	0,2	0,76	0,2	0,76	0,2
For austenitic laser welded I-sections, α may be taken as 0,60 for buckling about the minor axis.							

8.3.2.2 Buckling reduction factor for torsional and torsional-flexural buckling

(1) For symmetric or asymmetric cross-sections, the buckling reduction factor χ_T for torsional buckling or χ_{TF} for torsional-flexural buckling may be determined by using Formulae (8.10) and (8.11), with the buckling coefficients for buckling about the minor axis in accordance with Table 8.3. The relative slenderness $\bar{\lambda}$ should be replaced by $\bar{\lambda}_T$ or $\bar{\lambda}_{TF}$ determined using Formula (8.12) based on the elastic torsional buckling force $N_{cr,T}$, or the elastic torsional-flexural buckling force $N_{cr,TF}$, respectively.

8.3.3 Uniform members in bending

8.3.3.1 Buckling reduction factors for lateral torsional buckling

(1) In general cases of prismatic members with arbitrary boundary conditions, the buckling reduction factor χ_{LT} may be determined by using Formulae (8.10) and (8.11), with the relative slenderness $\bar{\lambda}$ replaced by the relative slenderness for lateral torsional buckling $\bar{\lambda}_{LT}$ from Formula (8.13), and with the limiting slenderness $\bar{\lambda}_0$ and the imperfection factor α taken as follows:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{RK}}{M_{cr}}} \quad (8.13)$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0,2$$

$$\alpha = 0,34 \text{ for cold-formed sections and hollow sections (welded and seamless)}$$

$$= 0,76 \text{ for welded open sections and other sections for which no test data are available}$$

where

M_{cr} is the elastic critical moment for lateral-torsional buckling;

M_{Rk} is the characteristic value of the resistance to bending moment.

(2) For doubly symmetric I- and H-sections and fork boundary conditions at both ends, the buckling reduction factor χ_{LT} may be taken as:

$$\chi_{LT} = \frac{f_M}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - f_M \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{but } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (8.14)$$

where

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[1 + f_M \left(\left(\frac{\bar{\lambda}_{LT}}{\bar{\lambda}_z} \right)^2 \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \right] \quad (8.15)$$

α_{LT} is the imperfection factor taken from Table 8.4;

$\bar{\lambda}_z$ is the corresponding relative slenderness for weak axis flexural buckling, as defined in 8.3.2.1, with the buckling length $L_{cr,z}$ taken as the distance between the discrete lateral restraints;

f_M is a factor that accounts for the effect of the bending moment distribution between discrete lateral restraints. It may conservatively be taken as 1,0 in cases that cannot be approximated by the diagrams in EN 1993-1-1:2022, Table 8.6.

(3) Lateral torsional buckling effects may be ignored and only cross sectional checks apply when the relative slenderness $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$.

Table 8.4 — Imperfection factor α_{LT} for lateral torsional buckling of doubly symmetric I- and H-sections

Steel grade	Imperfection factor α_{LT}
Austenitic	$0,31 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ but: $\alpha_{LT} \leq 1,10$
Duplex	$0,23 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ but: $\alpha_{LT} \leq 0,76$
Ferritic	$0,27 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{W_{el,z}}}$ but: $\alpha_{LT} \leq 0,76$

8.3.4 Uniform members in bending and axial compression

(1) The stability of members, including cold-formed section members, should be verified using the rules given in EN 1993-1-1:2022, 8.3.3, except as modified or superseded by (2) and (3).

(2) The provisions in EN 1993-1-1:2022, C.1 for the design of mono-symmetric I-, H- and welded box section members shall not be applied to stainless steel.

(3) Members which are subjected to combined bending and axial compression should satisfy the interaction formulae given in EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(5), but using the interaction factors k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} and k_{zz} given in Table 8.5 and Table 8.6.

Table 8.5 — Interaction factors k_{yy} and k_{yz} for EN 1993-1-1:2022, criterion (8.88), Instability governed by buckling about y-y axis

Austenitic	Duplex	Ferritic
I-sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,0$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,60(\bar{\lambda}_y - 0,35)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,0$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,625n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,52n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (for k_{zz} see Table 8.6)		
Rectangular hollow sections and welded box sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,4$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_y - 0,40)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,6$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_y - 0,45)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,00n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,4$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,5n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,6$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,495n_y)$
$k_{yz} = k_{zz}$ (for k_{zz} see Table 8.6)		
Circular hollow sections		
For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_y - 0,30)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_y - 0,38)n_y]$	For $\bar{\lambda}_y < 1,3$: $k_{yy} = C_{my}[1 + 1,90(\bar{\lambda}_y - 0,39)n_y]$
For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 2,50n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,84n_y)$	For $\bar{\lambda}_y \geq 1,3$: $k_{yy} = C_{my}(1 + 1,805n_y)$
$k_{yz} = k_{yy}$		
NOTE 1 See EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(9) for n_y .		
NOTE 2 See EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(10) and EN 1993-1-1:2022, Table 8.9 for C_{my} .		

Table 8.6 — Interaction factors k_{zy} and k_{zz} for EN 1993-1-1:2022, criterion (8.89), Instability governed by buckling about z-z axis

Austenitic	Duplex	Ferritic
I-sections		
For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z < 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,2\bar{\lambda}_z n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$	For $\bar{\lambda}_z \geq 0,8$: $k_{zy} = 1 - \frac{0,16n_z}{C_{mLT} - 0,4}$
For $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,80(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,70(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,20(\bar{\lambda}_z - 0,50)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,96n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,2$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,89n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,5$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,20n_z)$
Rectangular hollow sections and welded box sections		
$k_{zy} = k_{yy}$ (for k_{yy} see Table 8.5)		
For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,00(\bar{\lambda}_z - 0,30)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 1,30(\bar{\lambda}_z - 0,45)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,00n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,4$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,50n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,6$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 1,495n_z)$
Circular hollow sections		
$k_{zz} = k_{zy} = k_{yy}$ (for k_{yy} see Table 8.5)		
Cold-formed and hot rolled channels		
For $\bar{\lambda}_z < 0,9$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 5,00(\bar{\lambda}_z - 0,20)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$	For $\bar{\lambda}_z < 1,3$: $k_{zz} = C_{mz}[1 + 2,50(\bar{\lambda}_z - 0,40)n_z]$
For $\bar{\lambda}_z \geq 0,90$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 3,50n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,30$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$	For $\bar{\lambda}_z \geq 1,30$: $k_{zz} = C_{mz}(1 + 2,25n_z)$
NOTE 1 See EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(9) for n_z .		
NOTE 2 See EN 1993-1-1:2022, 8.3.3(10) and EN 1993-1-1:2022, Table 8.9 for C_{mz} and C_{mLT} .		

9 Serviceability limit states

9.1 General

(1) The requirements for serviceability given in EN 1993-1-1:2022, Clause 9 should be applied for stainless steels.

(2) Deflections in members should be estimated in accordance with 9.2.

(3) If visual distortions of the cross-section are unacceptable, the compressive stress $\sigma_{\text{com,Ed,ser}}$ in the cross-section under serviceability loading should be limited by the elastic local and distortional buckling stress of the full cross-section, which may be determined numerically or, in the case of the local buckling stress, according to [11]. Conservatively, for sections comprising flat plates, the local buckling stress may be determined for the most slender constituent plate element of the cross-section using Formula (B.5). For circular hollow sections, the local buckling stress may be determined using Formula (B.7). For sections with edge or intermediate stiffeners, the distortional buckling stress may be determined in accordance with prEN 1993-1-3:2022, 7.3.2.

9.2 Determination of deflections

(1) The effects of the non-linear stress-strain behaviour of stainless steels, and the effectiveness of the cross-section, should be taken into account in estimating deflections.

NOTE: Guidance for the description of the non-linear material behaviour of annealed material is given in prEN 1993-1-14:2022.

(2) For cross-sections susceptible to local or distortional buckling under serviceability loading, the effective moment of inertia should be determined in accordance with prEN 1993-1-3:2022, 9.1(2) based on the modulus of elasticity E .

(3) In the case of members subject to shear lag, the effective cross-section may be based on effective widths determined using prEN 1993-1-5:2022, 5.2.1.

(4) Deflections should be estimated using the secant modulus of elasticity $E_{\text{s,ser}}$ determined taking account of the stresses in the member under the load combination for the relevant serviceability limit state.

(5) The value of the secant modulus of elasticity $E_{\text{s,ser}}$ may be calculated from Formula (9.1):

$$E_{\text{s,ser}} = \frac{(E_{\text{s,1}} + E_{\text{s,2}})}{2} \quad (9.1)$$

where

$E_{\text{s,1}}$ is the secant modulus corresponding to the stress σ_1 in the tension flange;

$E_{\text{s,2}}$ is the secant modulus corresponding to the stress σ_2 in the compression flange.

(6) The values of $E_{\text{s,1}}$ and $E_{\text{s,2}}$ for the appropriate serviceability design stress $\sigma_{i,\text{Ed,ser}}$ may be estimated using Formula (9.2):

$$E_{\text{s,i}} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,\text{Ed,ser}}} \left(\frac{\sigma_{i,\text{Ed,ser}}}{f_y} \right)^n} \quad (9.2)$$

with

$i = 1 \text{ or } 2$.

(7) The value of the coefficient n may be taken from Table 9.1.

(8) As a simplification, the variation of $E_{s,ser}$ along the length of the member may be neglected and the minimum value of $E_{s,ser}$ for that member (corresponding to the maximum values of the stresses $\sigma_{1,Ed,ser}$ and $\sigma_{2,Ed,ser}$ in the member) may be used throughout its length.

NOTE The use of the secant modulus in (5) or (8) tends to give conservative estimations of the deflection when the maximum stress in the member is $\sigma_{i,Ed,ser} > 0,65f_y$. More accurate analytical expressions for estimating the deflection under typical loading conditions are given in [13].

(9) Alternatively, deflections may be estimated using the finite element methods given in prEN 1993-1-14:2022.

Table 9.1 — Values of n

Steel grade	Coefficient n
Ferritic	14
Austenitic	7
Duplex	8

10 Connection design

10.1 General

(1) The provisions given in EN 1993-1-8 should be applied for stainless steels, except where modified or superseded by the provisions given in 10.2 and 10.3.

NOTE: Information on durability is given in Annex A.

(2) The design of connections for stainless steel sheets using self-tapping screws should be in accordance with EN 1993-1-3 except that the pull-out strength should be determined by testing.

(3) The ability of a self-tapping screw to drill and form threads in stainless steel should be demonstrated by tests unless sufficient experience is available.

NOTE Testing of fasteners is described in [14]. Additional information on testing procedures for fastenings is given in [15].

10.2 Bolted connections

(1) The bearing resistance of a bolted connection should be determined either on the basis of a strength or a deformation criterion. The strength criterion may be used provided deformation at the bolt hole under serviceability loading is not a design consideration.

(2) The bearing resistance for an individual fastener should be calculated from Formula (10.1):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

(10.1)

where

- α_b is the bearing coefficient in the direction of load transfer given in Table 10.1 or Table 10.2;
- k_1 is the bearing coefficient in the direction perpendicular to load transfer given in Table 10.1 or Table 10.2;
- d is the bolt diameter;

- d_0 is the hole diameter for the bolt;
- e_1 is the end distance from the centre of a bolt hole to the adjacent end of any part, measured in the direction of load transfer;
- e_2 is the edge distance from the centre of a bolt hole to the adjacent edge of any part, measured at right angles to the direction of load transfer;
- p_1 is the spacing between centres of bolts in a line in the direction of load transfer;
- p_2 is the spacing measured perpendicular to the load transfer direction between adjacent lines of bolts;
- t is the thickness of the connected plate;
- f_u is the ultimate tensile strength of the connected plates.

Table 10.1 — α_b and k_1 coefficients ($t > 4$ mm)

	Bearing coefficient α_b	Bearing coefficient k_1
Strength criterion	For end bolts: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{6d_0} \right\}$ For inner bolts: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{12d_0} \right\}$	For edge bolts: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \min \left\{ \frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0} \right\} \leq 1,5 \end{cases}$ For inner bolts: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0} \right) \leq 1,5 \end{cases}$
Deformation criterion	For end bolts: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5e_1}{4d_0} \right\}$ For inner bolts: $\alpha_b = \min \left\{ 2,5, \frac{5p_1}{8d_0} \right\}$	For edge and inner bolts: $k_1 = 0,5$

Table 10.2 — α_b and k_1 coefficients ($t \leq 4 \text{ mm}$)

	Bearing coefficient α_b	Bearing coefficient k_1
Strength criterion	Inner sheet in a double shear connection	
	For end bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{6d_0}\right\}$ For inner bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{12d_0}\right\}$	For edge bolts: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \min\left\{\frac{e_2}{d_0}, \frac{p_2}{2d_0}\right\} \leq 1,5 \end{cases}$ For inner bolts: $k_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) > 1,5 \\ 0,8 & \text{if } \left(\frac{p_2}{2d_0}\right) \leq 1,5 \end{cases}$
	Single shear connections and outer sheet in double shear connection	
	For end bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{4d_0}\right\}$ For inner bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{8d_0}\right\}$	For edge and inner bolts: $k_1 = 0,64$
Deformation criterion	Single and double shear connections	
	For end bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5e_1}{4d_0}\right\}$ For inner bolts: $\alpha_b = \min\left\{2,5, \frac{5p_1}{8d_0}\right\}$	For edge and inner bolts: $k_1 = 0,5$

(3) The shear resistance of a bolt, $F_{v,Rd}$ should be calculated from Formula (10.2):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

(10.2)

where

- A

is the gross cross-section area of the bolt (if the shear plane passes through the unthreaded portion of the bolt), or the tensile stress area of the bolt (if the shear plane passes through the threaded portion of the bolt);
- f_{ub}

is the ultimate tensile strength of the bolt, see Table 5.5.
- α

is given in Table 10.3 and applies whether the shear plane passes through the unthreaded or the threaded portions of the bolt.

Table 10.3 — Values of α

Property Class	Austenitic	Duplex
50	0,8	-
70	0,7	0,8
80	0,7	0,7
100	0,6	0,6

(4) The tension resistance of a bolt, $F_{t,Rd}$ should be calculated from Formula (10.3):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} \quad (10.3)$$

where

$k_2 = 0.63$ for countersunk bolt, otherwise $k_2 = 1.0$;

A_s is the tensile stress area of the bolt.

(5) Bolts which are subjected to combined shear and tension should satisfy the criterion (10.4) or (10.5):

If the threads are not excluded from the shear plane:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \right)^{1.7} \leq 1,0 \quad \text{but} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (10.4)$$

If the threads are excluded from the shear plane:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{F_{t,Ed}}{1,25 F_{t,Rd}} \right)^{1.7} \leq 1,0 \quad \text{but} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (10.5)$$

(6) The design slip resistance of preloaded bolted connections should be taken as:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,S} \quad (10.6)$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,S} \quad (10.7)$$

where

k_s is given in prEN 1993-1-8:2022, Table 5.10;

n is the number of friction planes;

μ is the slip factor obtained either by specific tests for the friction surface based on test specimens representative of the surfaces used in the structure in accordance with EN 1090-2, or when relevant as given in Table 10.4;

$F_{p,S}$ is the nominal preload level of the bolting assembly given by Formula (10.8).

$F_{p,S} = 0,7f_{yb}A_s$ (10.8)

where

f_{yb} is the nominal yield strength of the bolt

A_s is the tensile stress area of the bolt

(7) Proof testing according to 5.2.2 is required to ensure that the preload level is achieved by the chosen tightening procedure and parameters.

Table 10.4 — Slip factors μ for friction surfaces

Surface condition ^a		Class	Slip factor μ
Surface finish	Rz ^b [μm]		
Surfaces blasted with clean stainless steel grit media	≥ 55	SSA	0,50
	≥ 45	SSB	0,40
Surfaces blasted with clean stainless steel shot media	≥ 35	SSC	0,20
As rolled surfaces	≥ 25	SSD	0,15
NOTE 1 The potential loss of preloading force from its initial value is considered in these slip factor values.			
NOTE 2 Care is needed during grit and shot blasting processes to ensure there is no detrimental effect on the corrosion resistance.			
^a The classification of any other surface treatment should be based on test specimens representative of the surfaces used in the structure, following the procedure set out in EN 1090-2:2018, Annex G.			
^b Rz is the surface roughness according to EN ISO 21920-2.			

10.3 Design of welds

(1) The design resistance of a fillet weld should be determined using either the Directional Method or the Simplified Method.

(2) For the Directional Method, the design resistance of a fillet weld should be taken as sufficient if the following are both satisfied:

$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$ and $\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}}$ (10.9)

where

f_u is the nominal ultimate tensile strength of the part joined, which is of lower strength grade;

β_w is the appropriate correlation factor, taken as follows:

= 0,9 for welds joining austenitic stainless steels

= 1,0 for welds joining duplex or ferritic stainless steels

= 1,0 for welds joining austenitic to duplex or ferritic stainless steels, duplex to ferritic stainless steels, or stainless steels to carbon steel

(3) For the Simplified Method, the design shear strength of a weld should be determined from:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} \quad (10.10)$$

(4) For welding of material in the cold worked condition, the resistance of the parent metal in the heat affected zones of butt welds should be taken as the ultimate tensile strength of the annealed parent metal, but see 10.3(6) also.

(5) For welding of material in the cold worked condition, the filler metal may have lower strength than the parent metal, in which case the design resistance of fillet and butt welds should be based on the nominal ultimate tensile strength of the filler metal and β_w should be taken as 1,0. See 10.3(6) also.

(6) In welded joints of cold worked material, annealing of the heat-affected zones may be incomplete, and the actual strength of joints may be higher than that calculated in accordance with 10.3(4) and (5). Under these circumstances, it may be possible to establish higher design properties by tests.

11 Fatigue

(1) For austenitic and duplex stainless steel structures exposed to fatigue actions, 10 of EN 1993-1-1 shall be applied. The rules in 10 of EN 1993-1-1 shall not apply to ferritic stainless steel structures exposed to fatigue actions.

12 Fire resistance

(1) For stainless steel structures exposed to fire, the rules in Annex C of EN 1993-1-2 shall be applied.

Annex A (normative)

Selection of materials and durability

A.1 Use of this Annex

(1) This Normative Annex contains provisions on the selection of materials and durability.

A.2 Scope and field of Application

(1) This Normative Annex applies to the selection of stainless steels for structural application and assumes the components in question are load bearing.

(2) The procedure does not take account of:

- grade/product availability;
- surface finish requirements, for example for architectural or hygiene reasons;
- methods of joining/connecting.

The type of surface finish may have an important effect on durability. If visual quality is of importance for a given component, an appropriate finish may be specified in accordance with the product standard.

(3) The procedure assumes that the following criteria will be met:

- the service environment will be in the near neutral pH range (pH 4 to 10);
- the structural parts are not directly exposed to, or part of, a chemical process flow stream;
- the service environment is not permanently or frequently immersed in seawater.

If these conditions are not met, specialist advice should be sought.

NOTE For guidance on material selection for fixings into concrete, timber and masonry, see EN 1992, EN 1995 and EN 1996 respectively.

(4) The procedure is suitable for environments found within Europe. The procedure should not be used for regions outside Europe and may be particularly misleading in certain parts of the world such as the Middle East, Far East and Central America.

A.3 Corrosion protection of construction products — Requirements

(1) Provided that the material is selected in accordance with the procedure given in Tables A.1, A.2 and A.3, subject to the limitations in A.4, and there are no additional requirements given in A.5 to A.7, stainless steel members and fasteners require no applied corrosion protection treatment to ensure satisfactory durability.

A.4 Selection of materials

(1) The procedure involves the following steps:

- determination of the Corrosion Resistance Factor (CRF) for the environment (Table A.1);
- determination of the Corrosion Resistance Class (CRC) from the CRF (Table A.2).

Table A.3 gives grades which have a suitable corrosion resistance for the service environment. The choice of specific grade will depend on other factors in addition to corrosion resistance, such as strength and availability in the required product form. Specification of the material by CRC and Strength Class (from Table 5.1) e.g. CRC III and SC450, or CRC and yield strength, e.g. CRC III and $f_y = 450 \text{ N/mm}^2$, is sufficient to allow the supplier to recommend the actual grade.

(2) The procedure applies to components exposed in external environments. For components in internally controlled environments, the CRF is 1,0.

An internally controlled environment is an environment which is either air-conditioned, heated or contained within closed doors. Multi-storey car parks, loading bays or other structures with large openings should be considered as external environments.

NOTE Indoor swimming pools are special cases of internal environments covered by A.5.

(3) The CRF depends on the severity of the environment and is calculated as follows:

$$\text{CRF} = F_1 + F_2 + F_3$$

where

F_1 = Risk of exposure to chlorides from salt water or deicing salts;

F_2 = Risk of exposure to sulfur dioxide;

F_3 = Cleaning regime or exposure to washing by rain.

(4) The value of F_1 for applications on the coastline depends on the particular location in Europe and is derived from experience with existing structures, corrosion test data and chloride distribution data. The large range of environments within Europe means that in some cases the calculated CRF will be conservative. The conservatism is due to the assumption of exposure to consistently high deposition rates of airborne chlorides from the sea. Where justified by a detailed site specific assessment undertaken by an appropriate specialist, the CRC may be reduced by one class. The assessment should take account of factors which may reduce chloride deposition including, but not limited to, proximity to the open sea, sheltering by ground topography or buildings, prevailing wind direction and breaking wave activity.

NOTE The National Annex can specify whether a less severe CRF may be chosen when validated local operating experience or test data support such a choice.

(5) Different parts of the same structure may have different exposure conditions, for example one part may be fully exposed and another part fully sheltered. Each exposure case should be assessed separately.

(6) The procedure assumes that the requirements of EN 1090-2 are followed in relation to:

- welding procedures and post weld cleaning,
- avoidance or removal and cleaning of contamination of the stainless steel surfaces after thermal or mechanical cutting.

Failure to do so may reduce the corrosion resistance of welded parts.

Table A.1 — Determination of Corrosion Resistance Factor $CRF = F_1 + F_2 + F_3$

Risk of exposure to chlorides from salt water or deicing salts, F_1		
1	Internally controlled environment	
0	Low risk of exposure	$M > 10 \text{ km}$ or $S > 0,1 \text{ km}$
-3	Medium risk of exposure	$1 \text{ km} < M \leq 10 \text{ km}$ or $0,01 \text{ km} < S \leq 0,1 \text{ km}$
-7	High risk of exposure	$0,25 \text{ km} < M \leq 1 \text{ km}$ or $S \leq 0,01 \text{ km}$
-10	Very high risk of exposure	Road tunnels where deicing salt is used or where vehicles might carry deicing salts into the tunnel
-10	Very high risk of exposure	$M \leq 0,25 \text{ km}^a$ North Sea coast of Germany and all Baltic coastal areas
-15	Very high risk of exposure	$M \leq 0,25 \text{ km}^a$ Atlantic coast line of Portugal, Spain and France. English Channel and North Sea Coastline of UK, France, Belgium, Netherlands and Southern Sweden. All other coastal areas of UK, Norway, Denmark and Ireland. Mediterranean Coast
NOTE 1 M is distance from the sea and S is distance from roads with deicing salts.		
^a The distance $M < 0,25 \text{ km}$ assumes the structure is not sheltered by ground topography. If the topography provides partial shelter to the structure, experience shows a grade from one lower class may be used. Examples of sheltering include structures built over inlets or estuaries with limited wave heights, physical barriers including trees, hills and other buildings within the $0,25 \text{ km}$ zone.		
Risk of exposure to sulfur dioxide, F_2		
0	Low risk of exposure	$< 10 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ average gas concentration
-5	Medium risk of exposure	$10 - 90 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ average gas concentration
-10	High risk of exposure	$90 - 250 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ average gas concentration
NOTE 2 For European coastal environments the sulfur dioxide concentration is usually low. For inland environments the sulfur dioxide concentration is either low or medium. The high classification is unusual and associated with particularly heavy industrial locations or specific environments such as road tunnels. Sulfur dioxide concentration may be evaluated according to the method in EN ISO 9225. Ferritic stainless steels demonstrate increased sensitivity to sulfur dioxide.		
Cleaning regime or exposure to washing by rain, F_3		
0	Fully exposed to washing by rain	
-2	Specified cleaning regime	
-7	No washing by rain or No specified cleaning	
NOTE 1 If $F_1 + F_2 \geq 0$, then $F_3 = 0$		
NOTE 2 If the component is to be regularly inspected for any signs of corrosion and cleaned, this should be made clear to the user in written form. The inspection, cleaning method and frequency should be specified. The more frequently cleaning is carried out, the greater the benefit. The frequency should not be less than every 3 months. Where cleaning is specified it should apply to all parts of the structure, and not just those easily accessible and visible.		

Table A.2 — Determination of Corrosion Resistance Class CRC

Corrosion Resistance Factor (CRF)	Corrosion Resistance Class (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
$\text{CRF} < -20$	V

Table A.3 — Grades in each Corrosion Resistance Class CRC

Corrosion resistance class CRC ^{a,b,c}				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571	1.4662	1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4362		
	1.4621	1.4062		
	1.4622	1.4578		
	1.4509			
	1.4521			
	1.4420			
^a A grade from a higher class may be used in place of the class indicated by the CRF. ^b The corrosion resistant classes are only intended for use with this grade selection procedure and are only applicable to structural applications. ^c The fracture toughness of ferritic stainless steels should be checked for external applications, see 5.1.3.				

A.5 Swimming pool environments

(1) Only the steel grades given in Table A.4 shall be used for load bearing parts exposed to atmospheres above indoor swimming pools.

Table A.4— Steel grades for indoor swimming pool atmospheres

Load bearing parts in swimming pool atmospheres	Corrosion resistance class CRC
Load-bearing members which are regularly cleaned ^a	CRC III or CRC IV
Load-bearing members which are not regularly cleaned	CRC V (excluding 1.4410, 1.4501 and 1.4507)
All fixings, fasteners and threaded parts	CRC V (excluding 1.4410, 1.4501 and 1.4507)
NOTE The National Annex can specify if less frequent cleaning is permitted.	
^a If the component is to be regularly inspected for any signs of corrosion and cleaned, this should be made clear to the user in written form. The inspection, cleaning method and frequency should be specified. The more frequently cleaning is carried out, the greater the benefit. The frequency should not be less than every week. Where cleaning is specified, it should apply to all parts of the structure, and not just those easily accessible and visible.	

A.6 Corrosion protection of connections with other metals

(1) Bimetallic corrosion may occur if dissimilar metals are in electrical contact and the contact area is exposed to an electrolyte (e.g. water or soil). Bimetallic corrosion may result in additional corrosion of one of the metals unless it is protected or electrically isolated from the other metal.

(2) If necessary, bimetallic corrosion should be prevented by isolating the stainless steel electrically from the other metal. Electrical isolation may be achieved by the use of insulating washers and bushes on both sides of the joint or by protective coatings applied to the non-stainless steel parts.

(3) Special measures should be taken to ensure the durability of welds between stainless steel and other metals (usually carbon steel), for example the weld should be painted and the paint continued at least 75 mm onto the stainless steel.

A.7 Galvanizing and contact with molten zinc

(1) Hot-dip galvanizing of components made of stainless steel is not allowed because contact with molten zinc can cause embrittlement of the stainless steel.

(2) Precautions should be taken to ensure that in the event of a fire, molten zinc from galvanised steel cannot drip or run onto the stainless steel and cause embrittlement. Additionally, there is a risk of embrittlement if a stainless steel component is joined to a carbon steel component which subsequently undergoes hot-dip galvanizing.

Annex B (normative)

Continuous strength method

B.1 Use of this Annex

(1) This Normative Annex contains additional provisions for determining the resistance of cross-sections which take advantage of the beneficial effect of partial plastification and strain hardening.

B.2 Scope and field of Application

(1) This Normative Annex applies to I-sections, channels, T-sections, angles and rectangular and circular hollow sections that satisfy the cross-section slenderness limits specified in B.5, and the member slenderness limits specified in 8.3.2.1(3) and 8.3.3.1(3).

B.3 General

(1) For cold-formed cross-sections, the average enhanced yield strength f_{ya} and the average ultimate tensile strength f_{ua} of the cross-section calculated according to 5.1.2.3 may be used in place of f_y and f_u , respectively, in this Annex.

B.4 Material modelling

(1) The CSM bi-linear elastic, linear hardening material model is shown in Figure B.1 while the material coefficients (C_1 , C_2 and C_3) which are used to define the material model are given in Table B.1.

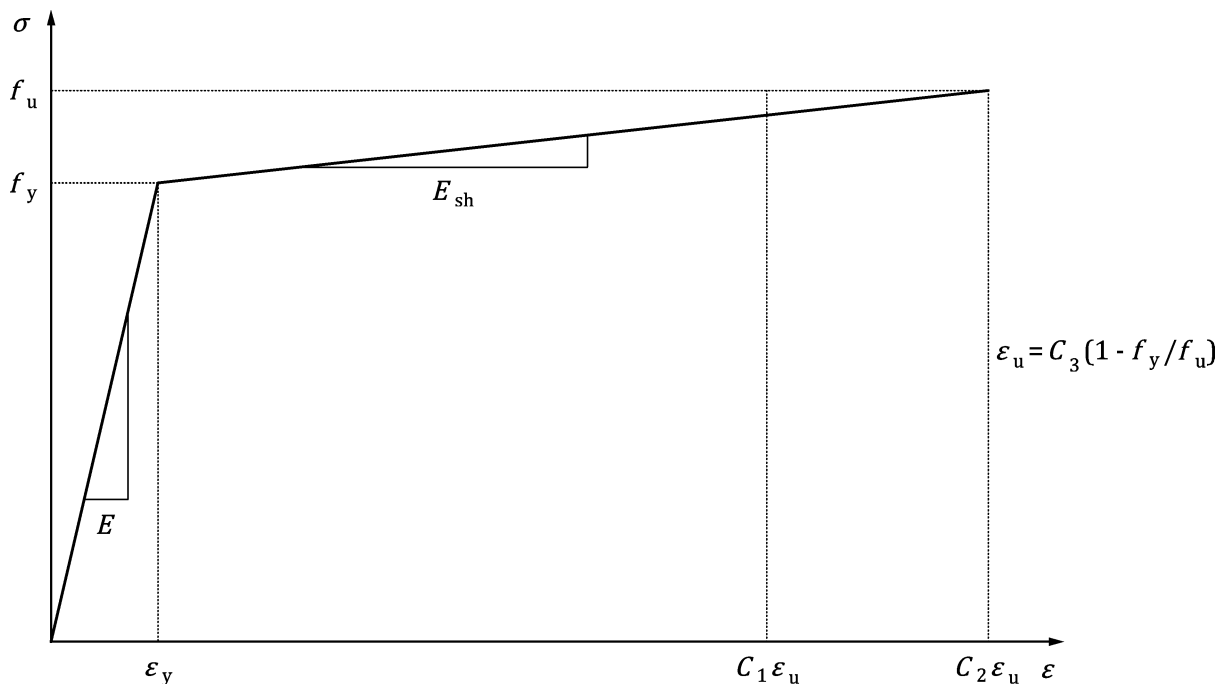


Figure B.1 — CSM bi-linear elastic, linear hardening material model

The terms in Figure B.1 are defined as:

f_y is the yield strength

ε_y is the elastic strain at the yield strength, taken as f_y/E

E is the modulus of elasticity

E_{sh} is the strain hardening modulus, taken as:

$$E_{sh} = \frac{f_u - f_y}{C_2 \varepsilon_u - \varepsilon_y} \quad (B.1)$$

f_u is the ultimate tensile strength

ε_u is the ultimate strain, corresponding to the ultimate tensile strength f_u , taken as:

$$\varepsilon_u = C_3(1 - f_y/f_u) \quad (B.2)$$

Table B.1 — CSM material model coefficients

Stainless steel	C_1	C_2	C_3
Austenitic	0,10	0,16	1,00
Duplex	0,10	0,16	1,00
Ferritic	0,40	0,45	0,60

B.5 Cross-section deformation capacity

B.5.1 Base curve

(1) The normalized deformation capacity of sections comprising flat plates and circular hollow sections should be determined following Formulae (7.9) and (B.3), respectively, based on the slenderness of the cross-section calculated in accordance with B.5.2. The upper slenderness limit of $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1,0$ in Formula (7.9) may be relaxed to $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 1,6$ when used with the resistance formulae given in this Annex.

For circular hollow sections

$$\frac{\varepsilon_{csm}}{\varepsilon_y} = \begin{cases} \frac{4,44 \times 10^{-3}}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{4,5}} \leq \min\left(\Omega, \frac{C_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y}\right) & \text{for } \bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,30 \\ \left(1 - \frac{0,224}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{0,342}}\right) \frac{1}{\bar{\lambda}_{c,cs}^{0,342}} & \text{for } 0,30 < \bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,60 \end{cases} \quad (B.3)$$

where

ε_{csm} is the CSM strain limit;

$\bar{\lambda}_{p,cs}$ is the cross-section slenderness for sections comprising flat plates(e.g. I-sections);

$\bar{\lambda}_{c,cs}$ is the cross-section slenderness for circular hollow sections;

Ω is defined in 7.4.3.5.

B.5.2 Cross-section slenderness

(1) For a section comprising flat plates, the cross-section slenderness $\bar{\lambda}_{p,cs}$ is defined as:

$$\bar{\lambda}_{p,cs} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,cs}} \quad (B.4)$$

In which:

$\sigma_{cr,cs}$ is the elastic local buckling stress of the full cross-section. This can be determined from numerical methods or the analytical expressions given in [11].

(2) Conservatively, $\sigma_{cr,cs}$ may be taken as the elastic local buckling stress of the most slender constituent plate element of the cross-section $\sigma_{cr,p}$, determined using Formula (B.5):

$$\sigma_{cr,p} = \frac{k_\sigma \pi^2 E t^2}{12(1-\nu^2) \bar{b}^2} \quad (B.5)$$

where

$\bar{b}$ is the plate element flat width (see 8.2.2(5))

t is the plate element thickness

ν is Poisson's ratio

k_σ is the buckling factor corresponding to the stress ratio ψ and boundary conditions as given in prEN 1993-1-5:2022, 6.4.1 for I internal and outstand elements.

(3) For a circular hollow section, the cross-section slenderness $\bar{\lambda}_{c,cs}$ is defined as:

$$\bar{\lambda}_{c,cs} = \sqrt{f_y / \sigma_{cr,c}} \quad (B.6)$$

In which:

$\sigma_{cr,c}$ is the elastic buckling stress of the full cross-section of the circular hollow section. This can be determined numerically or for members in compression, bending or combinations thereof, it may be determined using Formula (B.7):

$$\sigma_{cr,c} = \frac{E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \frac{2t}{d} \quad (B.7)$$

where

d is the cross-section diameter

t is the cross-section thickness

B.6 Resistance of cross-sections

B.6.1 Tension

(1) For sections comprising flat plates and circular hollow sections, the design tension resistance of the cross-section without holes should be determined as:

$$N_{t,Rd} = N_{csm,t,Rd} = \frac{A f_{csm,t}}{\gamma_{M0}} \quad (B.8)$$

where

A is the cross-sectional area

$f_{\text{csm},t}$ is the design stress corresponding to $\varepsilon_{\text{csm},t}$, given by:

$$f_{\text{csm},t} = f_y + E_{\text{sh}} \varepsilon_y (\varepsilon_{\text{csm},t} / \varepsilon_y - 1) \quad (\text{B.9})$$

$$\varepsilon_{\text{csm},t} / \varepsilon_y = \min \left\{ 15 ; \frac{c_1 \varepsilon_u}{\varepsilon_y} \right\} \quad (\text{B.10})$$

(2) For sections comprising flat plates and circular hollow sections with holes, the design net-section resistance should be determined according to prEN 1993-1-3:2022, 8.1.2 or EN 1993-1-1:2022, 8.2.3 as appropriate.

B.6.2 Compression

(1) For sections comprising flat plates and circular hollow sections, the design resistance of the cross-section for uniform compression should be determined as follows:

$$N_{\text{c},\text{Rd}} = N_{\text{csm},\text{Rd}} = \frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} \frac{A f_y}{\gamma_{\text{M}0}} \quad \text{for } \varepsilon_{\text{csm}} / \varepsilon_y < 1,0 \quad (\text{B.10})$$

$$N_{\text{c},\text{Rd}} = N_{\text{csm},\text{Rd}} = \frac{A f_{\text{csm}}}{\gamma_{\text{M}0}} \quad \text{for } \varepsilon_{\text{csm}} / \varepsilon_y \geq 1,0 \quad (\text{B.11})$$

where

A is the cross-sectional area

f_{csm} is the design stress corresponding to ε_{csm} , given by:

$$f_{\text{csm}} = f_y + E_{\text{sh}} \varepsilon_y (\varepsilon_{\text{csm}} / \varepsilon_y - 1) \quad (\text{B.12})$$

B.6.3 Bending

(1) The bending moment resistance $M_{\text{csm},\text{Rd}}$ given in B.6.3.1 and B.6.3.2 may be used for member slenderness $\bar{\lambda}_{\text{LT}} \leq 0,2$. For the case in which $M_{\text{csm},\text{Rd}}$ is greater than the bending moment resistance determined according to 8.2.4, a linear reduction from $M_{\text{csm},\text{Rd}}$ to $M_{\text{c},\text{Rd}}$ (determined from 8.2.4) between $\bar{\lambda}_{\text{LT}} \leq 0,2$ and $\bar{\lambda}_{\text{LT}} \leq 0,4$ may be used.

B.6.3.1 Bending about an axis of symmetry

(1) For doubly symmetric sections (e.g. I-sections, rectangular and circular hollow sections) and mono-symmetric sections (e.g. channel sections and T-sections) in bending about an axis of symmetry, the cross-section bending resistance should be determined using Formulae (B.13) or (B.14) based on the CSM strain limit ε_{csm} obtained in accordance with B.5.1.

$$M_{\text{c},\text{Rd}} = M_{\text{csm},\text{Rd}} = \frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} \frac{W_{\text{el}} f_y}{\gamma_{\text{M}0}} \quad \text{for } \varepsilon_{\text{csm}} / \varepsilon_y < 1,0 \quad (\text{B.13})$$

$$M_{\text{c},\text{Rd}} = M_{\text{csm},\text{Rd}} = \frac{W_{\text{pl}} f_y}{\gamma_{\text{M}0}} \left[1 + \frac{E_{\text{sh}}}{E} \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{pl}}} \left(\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} - 1 \right) - \left(1 - \frac{W_{\text{el}}}{W_{\text{pl}}} \right) / \left(\frac{\varepsilon_{\text{csm}}}{\varepsilon_y} \right)^\alpha \right] \quad \text{for } \varepsilon_{\text{csm}} / \varepsilon_y \geq 1,0 \quad (\text{B.14})$$

where

W_{el} is the cross-section elastic section modulus;

W_{pl} is the cross-section plastic section modulus;

α is the CSM bending parameter, as given in Table B.2.

B.6.3.2 Bending about an axis that is not one of symmetry

(1) For asymmetric sections (e.g. angles) and mono-symmetric sections (e.g. channel sections and T-sections) in bending about an axis that is not one of symmetry, the CSM compressive strain limit ε_{csm} should be determined in accordance with Formula (7.9). The corresponding outer-fibre tensile strain $\varepsilon_{csm,t}$ may then be determined assuming a linearly-varying through-depth strain distribution and the design bending moment resistance calculated as follows:

- Initially, $\varepsilon_{csm,t}$ may be calculated based on the location of the elastic neutral axis (ENA). The maximum design strain $\varepsilon_{csm,max}$ should then be taken as the maximum of ε_{csm} and $\varepsilon_{csm,t}$.
- If $\varepsilon_{csm,max} \leq \varepsilon_y$, the use of the ENA in the calculation of $\varepsilon_{csm,t}$ may be considered to be appropriate and the design bending moment resistance should be calculated using Formula (B.13) with ε_{csm} replaced by $\varepsilon_{csm,max}$.
- If $\varepsilon_{csm,max} > \varepsilon_y$, the location of the design neutral axis should be recalculated based on cross-section equilibrium or, as an approximation, it may be considered to lie at mid-distance between the elastic and plastic neutral axes. $\varepsilon_{csm,t}$ and $\varepsilon_{csm,max}$ should then be recalculated using the new location of the neutral axis.
- The bending moment resistance should then be determined using Formula (B.14) with ε_{csm} replaced by $\varepsilon_{csm,max}$ and using the values of the bending parameter α taken from Table B.2.

Table B.2 — CSM bending parameter α

Cross-section type	Axis of bending	Aspect ratio	α
Rectangular hollow section	Any	Any	2,0
Circular hollow section	Any	–	2,0
I-section	Major	Any	2,0
	Minor	Any	1,2
Channel section	Major	Any	2,0
	Minor	$h/b < 2$	1,5
		$h/b \geq 2$	1,0
T-section	Major	$h/b < 1$	1,0
		$h/b \geq 1$	1,5
	Minor	Any	1,2
Equal angle	Any	–	1,0
Unequal angle	Major	Any	1,5
	Minor	Any	1,0

B.6.4 Combined bending and axial force

B.6.4.1 Rectangular hollow sections subject to combined loading

(1) For rectangular hollow sections with $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,60$, subjected to uniaxial bending in combination with axial compression, the criteria given by Formulae (B.15) and (B.16) should be satisfied for bending about the major axis and minor axis, respectively. For biaxial bending in combination with compression, the criteria given by Formula (B.17) should be satisfied.

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,cs,y,Rd} = M_{cs,y,Rd} \frac{(1-n_{cs})}{(1-0,5a_w)} \leq M_{cs,y,Rd} \quad (B.15)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,cs,z,Rd} = M_{cs,z,Rd} \frac{(1-n_{cs})}{(1-0,5a_f)} \leq M_{cs,z,Rd} \quad (B.16)$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,cs,y,Rd}} \right]^{\alpha_{cs}} + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,cs,z,Rd}} \right]^{\beta_{cs}} \leq 1 \quad (B.17)$$

where

$M_{y,Ed}$	is the design bending moment about major (y-y) axis
$M_{z,Ed}$	is the design bending moment about minor (z-z) axis
$M_{N,cs,y,Rd}$	is the reduced CSM bending moment resistance about major (y-y) axis
$M_{N,cs,z,Rd}$	is the reduced CSM bending moment resistance about minor (z-z) axis
a_w	is the ratio of the web area to the gross cross-section area
a_f	is the ratio of the flange area to the gross cross-section area
n_{cs}	is the ratio of the design compression force N_{Ed} to the CSM compression resistance $N_{cs,Rd}$
α_{cs} and β_{cs}	are the interaction coefficients for biaxial bending, equal to $1,66/(1 - 1,13n_{cs}^2)$.

(2) For rectangular hollow sections with $\bar{\lambda}_{p,cs} > 0,60$, the criteria given by Formula (B.18) should be satisfied.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cs,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{cs,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{cs,z,Rd}} \leq 1 \quad (B.18)$$

B.6.4.2 I-sections subject to combined loading

(1) For I-sections with $\bar{\lambda}_{p,cs} \leq 0,60$, subjected to uniaxial bending in combination with axial compression, the criteria given by Formulae (B.19), (B.20) and (B.21) should be satisfied for bending about the major axis and minor axis, respectively. For biaxial bending in combination with compression, the criteria given by Formula (B.17) should be satisfied.

$$M_{y,Ed} \leq M_{N,cs,y,Rd} = M_{cs,y,Rd} \frac{(1-n_{cs})}{(1-0,5a)} \leq M_{cs,y,Rd} \quad (B.19)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,cs,z,Rd} = M_{cs,z,Rd} \quad \text{for } n_{cs} \leq a \quad (B.20)$$

$$M_{z,Ed} \leq M_{N,cs,z,Rd} = M_{cs,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n_{cs}-a}{1-a} \right)^2 \right] \leq M_{cs,z,Rd} \quad \text{for } n_{cs} > a \quad (B.21)$$

where

$$a = (A - 2bt_f)/A$$

$\alpha_{cs} = 2$ and $\beta_{cs} = 5n_{cs}$ but $\beta_{cs} \geq 1$ are the interaction coefficients for biaxial bending.

(2) For I-sections with $\bar{\lambda}_{p,cs} > 0,60$, the criteria given by Formula (B.18) should be satisfied.

B.6.4.3 Circular hollow sections subject to combined loading

(1) For circular hollow sections with $\bar{\lambda}_{c,cs} \leq 0,27$, the criteria in Formula (B.22) should be satisfied:

$$M_{Ed} \leq M_{N,cs,Rd} = M_{cs,Rd} (1 - n_{cs}^{1,7}) \quad (B.22)$$

(2) For circular hollow sections with $\bar{\lambda}_{c,cs} > 0,27$, the criteria in Formula (B.23) should be satisfied:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cs,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{cs,Rd}} \leq 1 \quad (B.23)$$

Bibliography

References contained in recommendations (i.e. “should” clauses)

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes highly recommended choices or course of action of this document. Subject to national regulation and/or any relevant contractual provisions, alternative documents could be used/adopted where technically justified. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

- [1] EN 10088 (all parts), *Stainless steels*
- [2] EN ISO 3506-1, *Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners — Part 1: Bolts, screws and studs with specified grades and property classes*
- [3] EN ISO 3506-2, *Mechanical properties of corrosion-resistant stainless steel fasteners — Part 2: Nuts with specified grades and property classes*
- [4] EN ISO 7089, *Plain washers — Normal series — Product grade A*
- [5] EN ISO 7090, *Plain washers, chamfered — Normal series — Product grade A*
- [6] EN 10028-7, *Flat products made of steels for pressure purposes – Part 7: Stainless steels*
- [7] EN 10296-2, *Welded circular steel tubes for mechanical and general engineering purposes - Technical delivery conditions – Part 2: Stainless steel*
- [8] EN 10297-2, *Seamless circular steel tubes for mechanical and general engineering purposes - Technical delivery conditions – Part 2: Stainless steel*

References contained in permissions (i.e. “may” clauses)

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content expresses a course of action permissible within the limits of the Eurocodes. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

- [9] EN ISO 9225, *Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres*
- [10] EN ISO 21920-2, *Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters*
- [11] Gardner, L., Fieber, A. and Macorini, L. (2019). Formulae for calculating elastic local buckling stresses of full structural cross-sections. *Structures*. 17, 2-20.
- [12] Fieber, A., Gardner, L. and Macorini, L. (2019). Formulae for determining elastic local buckling half-wavelength of structural steel cross-sections. *Journal of Constructional Steel Research*. 159, 493-506.

References contained in possibilities (i.e. “can” clauses) and notes

The following documents are cited informatively in the document, for example in "can" clauses and in notes.

[13] SCI (2017). Design Manual for Structural Stainless Steel 4th Edition - Commentary. The Steel Construction Institute. Berkshire, UK. Available from www.steel-stainless.org/designmanual

[14] EAD 330046-01-0602: Fastenings Screws for Metal Members and Sheeting. Available from: www.eota.eu

[15] ECCS Publication No. 124; 2009, *The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections*. ECCS European convention for steel construction. Brussels. Available from: www.steelconstruct.com